

REFAM



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 44 32 747 A 1

⑯ Int. Cl. 8:  
**G 01 R 33/34**

G 01 R 33/48  
A 61 B 5/055  
H 01 R 15/00  
B 06 B 1/08  
G 10 K 11/16  
F 16 F 15/03

⑯ Aktenzeichen: P 44 32 747.1  
⑯ Anmeldetag: 14. 9. 94  
⑯ Offenlegungstag: 23. 3. 95

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯  
17.09.93 JP 5-253634 06.04.94 JP 6-068732  
27.07.94 JP 6-179193 02.08.94 JP 6-181560

⑯ Erfinder:  
Yoshino, Hitoshi, Kashiwa, JP; Nishimura, Hiroshi,  
Kashiwa, JP

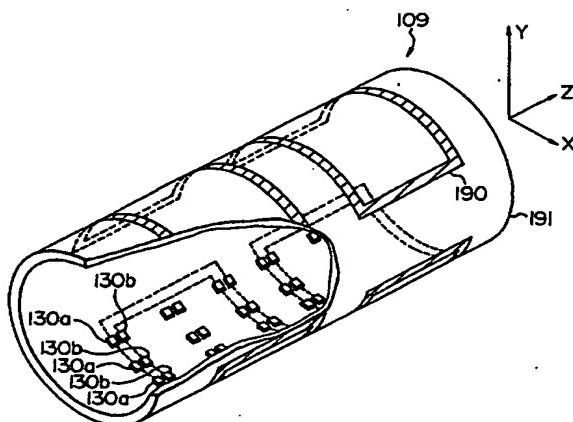
⑯ Anmelder:  
Hitachi Medical Corp., Tokio/Tokyo, JP

⑯ Vertreter:  
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Groening,  
H., Dipl.-Ing.; Lang, G., Dipl.-Phys.; Rasch, M.,  
Dipl.-Ing. Univ.; Frhr. von Brandis, H.,  
Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anwälte, 80538 München

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Kernspintomographie-Gerät und -Verfahren mit Geräuschkämpfung

⑯ Es wird unter anderem eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (109) zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds in einem Raum, in dem ein Untersuchungsobjekt anzugeordnen ist, beschrieben, die mindestens eine Gradientenmagnetfeldspule (190) und ein Halteteil (191) für die Spule aufweist, das durch eine elektromagnetische Kraft verformt wird, wie sie erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Spule geleitet wird. Eine solche Einrichtung erzeugt herkömmlicherweise immer dann Geräusche und Schwingungen, wenn ein impulsförmiger Strom durch die Spule geschickt wird, da dann die genannte elektromagnetische Kraft entsteht und die Spule wie auch das Halteteil für dieselbe verformt werden. Gemäß der Erfindung wird eine Kraft zum Verhindern dieser Verformung an das Halteteil angelegt. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ein piezoelektrisches Bauelement (130) dämpfungsfrei am Halteteil befestigt, und die Kraft zum Verhindern der Verformung des Halteteils wird dadurch angelegt, daß die an das piezoelektrische Bauelement angelegte Spannung gesteuert wird.



DE 44 32 747 A 1

DE 44 32 747 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Kernspintomographie-Gerät und ein zugehöriges Verfahren mit Geräuschkämpfung. Spezieller betrifft sie Verbesserungen an einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung.

Ein Kernspintomograph strahlt elektromagnetische Wellen auf ein Untersuchungsobjekt ab, das im statischen Magnetfeld angeordnet ist, um in den Atomkernen des Untersuchungsobjekts einen Kernspinresonanzeffekt zu erzeugen, und er erstellt auf Grundlage der vom Untersuchungsobjekt erzeugten Kernspinresonanzsignale Bilder, die physikalische Eigenschaften des Untersuchungsobjekts widerspiegeln. Im allgemeinen weist ein Kernspintomograph eine Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung zum Erzeugen eines statischen Magnetfelds und eines Gradientenmagnetfelds, eine Hochfrequenzspule zum Einstrahlen elektromagnetischer Wellen auf das Untersuchungsobjekt oder zum Erfassen von Kernspinresonanz(KSR)-Signalen vom Untersuchungsobjekt sowie eine Bilderstellungseinrichtung zum Erstellen von Bildern unter Verwendung der so erfaßten KSR-Signale auf. Das Gradientenmagnetfeld wird in Überlagerung zum statischen Magnetfeld angelegt, um dem KSR-Signal Positionsinformation hinzuzufügen. Die Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung weist eine innerhalb des von der Erzeugungseinrichtung für das statische Magnetfeld erzeugten Magnetfelds angeordnete Gradientenmagnetfeldspule und ein Halteteil für die Spule auf. Diese Einrichtung wird dadurch betrieben, daß ein impulsförmiger Strom durch die Gradientenmagnetfeldspule geschickt wird. Wenn dieser Strom fließt, wirkt eine elektromagnetische Kraft gemäß der Flemingschen Linkshandregel. Diese elektromagnetische Kraft verursacht eine Verformung der Gradientenmagnetfeldspule und erzeugt Geräusche und Schwingungen herrührend von der Erzeugungseinrichtung für das statische Magnetfeld. Vorzugsweise wird Geräuschkämpfung ausgeführt, da die Geräusche bei einem Patienten als Untersuchungsobjekt Angst- und Bedrohungsgefühle hervorrufen.

Demgemäß verwenden herkömmliche Kernspintomographen ein System, das die vom Gradientenmagnetfeld hervorgerufenen Geräusche dadurch verringert werden, daß ein Geräuschkämpfungsteil usw. innerhalb einer Verkleidung angeordnet werden, die den Außenumfang des Geräts abdeckt, daß ein schwingungsfestes Material für das Halteteil zum Halten der Gradientenmagnetfeldspule verwendet wird, daß der Absolutwert der Schwingungsamplitude dadurch verringert wird, daß die Dämpfungseigenschaften des schwingungsfesten Teils genutzt werden und daß die Dämpfungszeit verkürzt wird (siehe WO-88/02912).

Andererseits ist ein aktives Geräuschkämpfungsverfahren als Verfahren zum Verringen verschiedener Arten von Geräuschen bekannt. Bei diesem Verfahren wird von einer zusätzlichen Tonquelle eine Tonwelle mit einer Phase entgegengesetzt zu der des Geräusches, aber mit derselben Amplitude erzeugt, um das Geräusch aufzuheben. Abhängig von der Art der Geräusche wurden verschiedene Verfahren dieser Art vorgeschlagen, und es wurden Versuche unternommen, diese Verfahren auf Kernspintomographen anzuwenden.

Zum Beispiel beschreibt JP-A-2-70195 ein Geräuschkämpfungsverfahren, bei dem ein Lautsprecher einen Ton erzeugt, um die Energie des Ausgangssignals eines akustischen Sensors zu minimieren, der auf der stromabwärtigen Seite eines Ausbreitungswegs angeordnet

ist, wobei das Ausgangssignal des akustischen Sensors dazu verwendet wird, Information über Tonwellen von einer Geräusquelle als Bezugssignal zu erfassen. Dies soll eine Technologie zum wirksamen und aktiven Aufheben von Geräuschen innerhalb des Ausbreitungswegs von der Tonquelle aus darstellen.

Ferner beschreibt das US-Patent 5,022,272 ein Verfahren, bei dem Schwingungen eines Geräts unter Verwendung eines piezoelektrischen Bauelements erfaßt werden und Schwingungen erzeugt werden, die entgegengesetzte Phase zur erfaßten Schwingung haben, um die Schwingung aufzuheben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, in Kernspintomographen entstehende Geräusche besser als bisher zu dämpfen.

Diese Aufgabe wird im Hinblick auf einen Kernspintomographen durch die Lehren der unabhängigen Ansprüche 1, 21 und 22 gelöst, im Hinblick auf eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung durch die Lehre von Anspruch 23, im Hinblick auf eine Geräuschkämpfungsvorrichtung durch die Lehren der unabhängigen Ansprüche 29 und 34, im Hinblick auf ein Feld aus piezoelektrischen Bauelementen durch die Lehre von Anspruch 35 und im Hinblick auf Verfahren zur Geräuschkämpfung in einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung durch die Lehren der unabhängigen Ansprüche 39 bis 41.

Es wird angenommen, daß die Gründe für die Geräusche und Schwingungen der Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung die folgenden sind. Wenn an einer Gradientenmagnetfeldspule ein Strom angelegt wird, wirkt in der Spule eine elektromagnetische Kraft, wodurch die Spule verformt wird. Die Spule wird im allgemeinen durch einen Spulenhalter aus Kunststoff gehalten, und eine Verformung der Spule aufgrund der elektromagnetischen Kraft hat auch eine Verformung des Spulenhalters zur Folge. Der an die Spule angelegte Strom wirkt impulsförmig (zwei bis zehn Mal pro Sekunde angelegt), und es ändert sich auch seine Polarität. Aus diesem Grund ändern sich die Verformung der Spule und der Spulenhalter aufgrund der elektromagnetischen Kraft immer dann, wenn der Impulsstrom angelegt wird. Anders gesagt, ist diese Verformung nicht statisch, und es wird angenommen, daß Schwingungen entstehen, wenn diese Verformung auftritt.

Demgemäß versucht die Erfindung, Verformungen der Spule und des Spulenhalters durch das Anlegen einer Kraft wirkungsvoll zu unterdrücken, die diese Verformung des Spulenhalters immer dann verhindert, wenn eine Verformung auftreten könnte, oder anders gesagt, synchron mit dem Anlegen des Impulsstroms an die Spule.

Wie vorstehend beschrieben, treten Verformungen der Spule und des Spulenhalters in Reaktion auf den Impulsstrom auf.

Demgemäß muß die an den Spulenhalter angelegte Kraft zum Verhindern der Verformung synchron mit dem Impulsstrom geändert werden. Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet ein piezoelektrisches Bauelement als Einrichtung zum Anlegen der Kraft. Das piezoelektrische Bauelement ist am Spulenhalter fest angebracht. Die Verformungsrichtung des piezoelektrischen Bauelements ist im wesentlichen parallel zur Ebene des Spulenhalters, und vom piezoelektrischen Bauelement wird eine Kraft in dieser Richtung auf den Spulenhalter ausgeübt. Andererseits wirkt die elektromagnetische Kraft rechtwinklig zur Ebene des Spulenhalters. Da die Richtung der elektromagneti-

schen Kraft und die Kraftrichtung des piezoelektrischen Bauelements demgemäß verschieden sind, müssen piezoelektrische Bauelemente ohne wesentliche Abstände über die gesamte Oberfläche des Spulenhalters angeordnet sein, um eine Verformung des Spulenhalters zu verhindern, um also seine Form beizubehalten.

Um die auf den Spulenhalter auszuübende Kraft genau einzustellen, ist es bevorzugt, die Verformung des piezoelektrischen Bauelements gerichtet vorzunehmen und es zu ermöglichen, daß sich das Bauelement bevorzugt nur in einer Richtung verformt. Um dies zu erzielen, verwendet ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Polarisationsrichtung des piezoelektrischen Bauelements parallel zum Spulenhalter. Die auf den Spulenhalter auszuübende Kraft kann dann genauer eingestellt werden, wenn vorzugsweise abwechselnd erste piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung in axialer Richtung des Spulenhalters liegt, und zweite piezoelektrische Bauelemente angebracht werden, deren Verformungsvorzugsrichtung in Umfangsrichtung des Spulenhalters liegt, und zwar auf der gesamten Oberfläche des Spulenhalters.

Das piezoelektrische Bauelement muß ohne Dämpfung mit dem Spulenhalter verbunden sein. Um dies zu erzielen, wird das piezoelektrische Bauelement vorzugsweise durch Gießen in den Spulenhalter eingebettet. Auch kann z. B. ein Epoxidkleber dazu verwendet werden, piezoelektrische Bauelemente von außen her an einem Spulenhalter zu befestigen.

Die Verformung jedes der an die gesamte Oberfläche des Spulenhalters angebrachten piezoelektrischen Bauelemente wird unabhängig gesteuert. Alternativ kann die Verformung mehrerer elektrischer Bauelemente gruppenweise gesteuert werden. Eine Steuereinheit kann geeignet abhängig vom Ausmaß der Verformung des Spulenhalters gewählt werden.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung werden die am Spulenhalter befestigten piezoelektrischen Bauelemente als Einrichtungen zum Erfassen einer Verformung des Spulenhalters verwendet und die an die piezoelektrischen Bauelemente anzulegenden Spannungen werden durch Rückkopplung auf Grundlage des Meßergebnisses eingestellt. Die piezoelektrischen Bauelemente zum Messen und diejenigen zum Anlegen von Kräften an den Spulenhalter können verschiedene oder dieselben sein. Im letzteren Fall wird die so erfaßte Verformungsinformation für den Spulenhalter in einem Speicher abgelegt.

Das Verformungsausmaß der Spule und des Spulenhalters werden in erster Linie durch die Spuleneigenschaften, die Stärke des Impulsstroms, die Stromanlegetzeit und die Strompolarität bestimmt. Demgemäß kann auch die zum Aufheben der Verformung erforderliche Kraft bestimmt werden. Anders gesagt, wird die an das piezoelektrische Bauelement angelegte Spannung auf Grundlage des Impulsstroms eingestellt, wodurch Verformungen der Spule und des Spulenhalters verhindert werden können.

Auch existiert der Fall, daß eine Folge von Impulsströmen vorab abhängig vom Untersuchungsobjekt festgelegt wird. In diesem Fall kann eine Folge von Verformungen der Spule und des Spulenhalters auf dieselbe Weise, wie vorstehend angegeben, bestimmt werden und die Folge der an die piezoelektrischen Bauelemente anzulegenden Spannungen, um die Folge dieser Verformungen zu verhindern, kann bestimmt werden. Demgemäß wird diese Folge von Spannungen vorab abgespeichert, und wenn diese konstante Folge von Impulsströ-

men verwendet wird, wird diese Spannungsfolge zum Verhindern einer Verformung des Spulenhalters verwendet.

Für das piezoelektrische Bauelement sind piezoelektrische Keramiken wie solche aus dem BaTiO<sub>3</sub>-System oder dem PbZrO<sub>3</sub>-PbTiO<sub>3</sub>-System verwendbar.

Diese und andere Aufgaben und Vorteile der Erfindung sind leicht aus der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen erkennbar, in denen:

Fig. 1 eine erläuternde Darstellung des Aufbaus eines Kernspintomographen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist;

Fig. 2 ein Schnitt durch eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel ist;

Fig. 3 ein vergrößerter Teilschnitt durch die Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung ist;

Fig. 4 ein Querschnitt durch eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel ist;

Fig. 5 und 6 erläuternde Ansichten sind, die zum Beschreiben des Ansteuerverfahrens für ein piezoelektrisches Bauelement von Nutzen sind;

Fig. 7 eine perspektivische Ansicht einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel ist;

Fig. 8 eine erläuternde Ansicht ist, die ein piezoelektrisches Bauelement zeigt, dessen Polarisationsrichtung ein Halteteil rechtwinklig schneidet;

Fig. 9 eine erläuternde Ansicht ist, die ein piezoelektrisches Bauelement zeigt, dessen Polarisationsrichtung parallel zu einem Halteteil steht;

Fig. 10 eine perspektivische Ansicht einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel ist;

Fig. 11 eine perspektivische Ansicht eines Zwischen-teils ist;

Fig. 12A ein Querschnitt durch eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel ist;

Fig. 12B eine perspektivische, vergrößerte Teilansicht der Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrich-tung ist;

Fig. 13A und 13B erläuternde Ansichten sind, die zum Beschreiben des Betriebs des piezoelektrischen Bauelements von Nutzen sind;

Fig. 14A ein Querschnitt durch eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung einer modifizierten Ausführungsform des fünften Ausführungsbeispiels ist;

Fig. 14B eine perspektivische, vergrößerte Teilansicht von Fig. 14A ist;

Fig. 15A ein Querschnitt durch eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel ist;

Fig. 15B eine perspektivische, vergrößerte Teilansicht von Fig. 15A ist;

Fig. 16A ein Querschnitt durch eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß einem siebten Ausführungsbeispiel ist;

Fig. 16B eine perspektivische, vergrößerte Teilansicht von Fig. 16A ist; und

Fig. 17 eine perspektivische Ansicht ist, die eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungsvorrichtung gemäß einem achten Ausführungsbeispiel zeigt.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung im einzelnen unter Bezugnahme

auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, das den Gesamtaufbau eines Kernspintomographen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt. Dieser Kernspintomograph erfaßt ein Querschnittsbild (Tomogramm) einer Person 1 unter Verwendung des Kernspinresonanzeffekts, und um diese Aufgabe zu erfüllen, weist der Kernspintomograph eine Erzeugungseinheit 2 mit ausreichend großem Bohrungsdurchmesser für ein statisches Magnetfeld, eine CPU 8, eine Ablaufsteuerung 7, ein Sendesystem 4, ein Gradientenmagnetfeld-Erzeugungssystem 3, ein Empfangssystem 5 und ein Signalverarbeitungssystem 6 auf.

Die Erzeugungseinheit 2 für das statische Magnetfeld erzeugt einen gleichmäßigen oder homogenen Magnetfluß um die Person 1 in der Richtung deren Körperachse oder rechtwinklig zu dieser, und innerhalb eines Raums mit bestimmter Ausdehnung um die Person 1 herum ist eine Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung aus einem Permanentmagnetsystem, einem normal leitenden System oder einem supraleitenden System angeordnet.

Die Ablaufsteuerung 7 arbeitet gesteuert durch die CPU 8 und gibt verschiedene Anweisungen, die zum Erfassen von Daten für Tomographiebilder der Person 1 erforderlich sind, an das Sendesystem 4, das Gradientenmagnetfeldsystem 3 und das Empfangssystem 5 aus.

Das Sendesystem 4 weist einen Hochfrequenz(HF)-Oszillator 11, einen Modulator 12, einen HF-Verstärker 13 und eine HF-Spule 14a auf der Sendeseite auf. Die vom HF-Oszillator 11 ausgegebenen HF-Impulse werden einer Amplitudenmodulation durch den Modulator 12 abhängig von der Anweisung von der Ablaufsteuerung 7 unterzogen. Nach einer Verstärkung durch den HF-Verstärker 13 werden diese amplitudinemodulierten HF-Impulse der in der Nähe der Person 1 angeordneten HF-Spule 14a zugeführt, damit elektromagnetische Wellen an die Person 1 abgestrahlt werden.

Das Gradientenmagnetfeld-Erzeugungssystem 3 weist Gradientenmagnetfeldspulen 9, die in den drei Richtungen X, Y und Z gewickelt sind, und eine Gradientenmagnetfeld-Spannungsversorgung 10 zum jeweiligen Betreiben dieser Spulen auf, und wenn die jeweilige Gradientenmagnetfeld-Spannungsversorgung 10 abhängig von einer Anweisung von der Ablaufsteuerung 7 angesteuert wird, werden jeweils Gradientenmagnetfelder G<sub>x</sub>, G<sub>y</sub>, G<sub>z</sub> in den drei Richtungen X, Y und Z an die Person 1 angelegt. Eine Ebene oder Scheibe durch die Person 1 kann durch die Anlegeart des Gradientenmagnetfelds eingestellt werden.

Das Empfangssystem 5 weist eine HF-Spule 14b auf der Empfangsseite, einen Verstärker 15, einen Quadraturphasendetektor 16 und einen A/D-Umsetzer 17 auf. Die elektromagnetischen Wellen der Person (Kernspinresonanzsignale) in Reaktion auf die von der HF-Spule 14a auf der Sendeseite eingestrahlten elektromagnetischen Wellen werden von der in der Nähe der Person 1 angeordneten HF-Spule 14b empfangen und über den Verstärker 15 und den Quadraturphasendetektor 16 in den A/D-Umsetzer 17 eingegeben und so in digitale Werte umgesetzt. In diesem Fall tastet der A/D-Umsetzer 17 zwei Reihen von vom Quadraturphasendetektor 16 ausgegebenen Signalen mit der zeitlichen Lage ab, wie sie durch eine Anweisung von der Ablaufsteuerung 7 vorgegeben wird, und er gibt zwei Reihen digitaler Daten aus. Diese digitalen Signale werden an das Signalverarbeitungssystem 6 geliefert und einer Fouriertransformation unterzogen.

Das Signalverarbeitungssystem 6 weist die CPU 8, eine Aufzeichnungseinheit, wie eine Magnetplatte 18, und ein Magnetband 19 sowie eine Anzeigevorrichtung 20, wie eine CRT auf, und sie führt verschiedene Verarbeitungen aus, wie eine Fouriertransformation, eine Berechnung von Korrekturkoefizienten, eine Bilderstellung usw., und zwar unter Verwendung der vorstehend genannten digitalen Signale, sie führt geeignete arithmetische Operationen für die Signalintensitätsverteilung in einer frei gewählten Scheibe oder für mehrere Signale aus, sie setzt die sich ergebende Verteilung in Bilder um, und sie stellt die Bilder auf der Anzeigevorrichtung 20 dar.

Übrigens sind die HF-Spulen 14a, 14b auf der Sende- bzw. Empfangsseite und die Gradientenmagnetfeldspule 9 in Fig. 1 innerhalb des magnetischen Raums der Erzeugungseinheit 2 für das statische Magnetfeld angeordnet, die ihrerseits im Raum um die Person 1 herum angeordnet ist.

Die Bezugszahl 30 in der Zeichnung bezeichnet ein piezoelektrisches Bauelement zum Umsetzen elektrischer Energie in mechanische Energie, das an der Gradientenmagnetfeldspule 9 vorhanden ist.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel für die Struktur der Gradientenmagnetfeldspule als eines der kennzeichnenden Merkmale der Erfindung erläutert.

Fig. 2 ist ein Querschnitt durch eine zylindrische Gradientenmagnetfeldspule. Ein X-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21a, ein Y-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21b und ein Z-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21c zum Erzeugen sich linear in Richtung X, Y und Z ändernder Magnetfelder weisen einen Spulenhalter 31 aus faser verstärktem Kunststoff und ein (in der Zeichnung nicht dargestelltes) piezoelektrisches Bauelement auf. Der X-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21a ist durch einen Epoxidharzkleber am Außenumfang des Spulenhalters 31 befestigt und der Y-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21b ist am Außenumfang des Spulenleiters 21a über eine Isolierfolie 32 befestigt. Ferner ist der Z-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21c mit einem Kleber über eine Isolierfolie 33 am Außenumfang des Y-Gradientenmagnetfeldspule-Leiters 21b befestigt.

Fig. 3 ist eine vergrößerte Ansicht nur des Spulenhalters 31 in Fig. 2, und sie zeigt das piezoelektrische Bauelement 30, das dazu dient, elektrische Energie in mechanische Energie umzusetzen, und das in den Spulenhalter 31 eingegossen ist. Zwei Arten piezoelektrischer Bauelemente sind in den Spulenhalter 31 integriert. Anders gesagt, ist ein Bauelement 30a auf solche Weise am Spulenhalter 31 befestigt, daß seine gesamte Fläche in Kontakt mit dem Spulenhalter 31 steht, und ein Bauelement 30b mit einem nur wenig flexiblen Teil 34, das in Kontakt mit dem mittleren Teil einer der Flächen des Bauelements 30b und mit der gesamten Fläche auf der gegenüberliegenden Seite und mit den Endflächen steht, ist auf solche Weise befestigt, daß nur seine Teile, die den mittleren Bereich der einen der Flächen einbetten, in Kontakt mit dem Spulenhalter 31 stehen. Das wenig flexible Teil 34 ist vorzugsweise ein Schwamm mit geschlossenen Zellen oder dergleichen. Das piezoelektrische Bauelement kann am Umfang unterteilt sein oder es kann integral ausgebildet sein. Bei diesem Ausführungsbeispiel expandieren und kontrahieren beide piezoelektrischen Bauelemente 30a, 30b in Umfangsrichtung oder in tangentialer Richtung. Im piezoelektrischen Bauelement 30b wird die Verformung des Teils, der nicht mit dem Spulenhalter 31 verbunden ist, durch

den Schwamm absorbiert. Anders gesagt, können Verformungen in diesem Bereich in den Schwamm entweichen.

Fig. 4 ist eine Konstruktionsansicht für die Gradientenmagnetfeldspule gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Auch diese Zeichnung ist ein Querschnitt durch eine zylindrische Gradientenmagnetfeldspule. Bei diesem Ausführungsbeispiel weist die Gradientenmagnetfeldspule eine Hauptspule 21 und eine Abschirmspule 21' auf, die jeweils eine Spule zum Erzeugen eines Magnetfelds aufweisen, das sich linear in jeder der Richtungen X, Y und Z ändert. Ein Abschirmspulenhalter 35 zum Halten der Abschirmspule 21' besteht aus faserverstärktem Kunststoff und ein X-Abschirmspule-Leiter 21a' ist durch einen Epoxidharzkleber am Außenumfang des Spulenhalters 35 befestigt. Ein Y-Abschirmspule-Halter 21b' ist über eine Isolierfolie 32 am Außenumfang des X-Abschirmspule-Leiters 21a' befestigt, und ein Z-Abschirmspule-Leiter 21c' ist mit einem Kleber über eine Isolierfolie 33 am Außenumfang des Y-Abschirmspule-Leiters 21b' befestigt. Ein Hauptspulenhalter 36 zum Halten der Hauptspule 21 besteht ebenfalls aus faserverstärktem Kunststoff, und ein X-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21a, ein Y-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21b und ein Z-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 21c sind auf dieselbe Weise wie die vorstehend beschriebene Abschirmspule 21' aufgebaut. Ein piezoelektrisches Bauelement 30b mit derselben Funktion, wie es dasjenige beim ersten Ausführungsbeispiel aufweist, ist so angeordnet, daß es zwischen der Abschirmspule 21' und der Hauptspule 21 einen Spalt festlegt. Wenn ein unmagnetisches und elektrisch nichtleitendes Harz 37 in den Spalt gefüllt wird, werden alle Bauteile miteinander integriert. Das piezoelektrische Bauelement 30B weist ein befestigtes Bauelement auf, das über seine ganze Oberfläche Kontakt mit dem Harz 37 hält, und ein Bauelement, dessen wenig flexibles Teil in Kontakt mit dem mittleren Bereich einer der Flächen steht und das so befestigt ist, daß nur der Endbereich in Kontakt mit dem Harz 37 steht, auf dieselbe Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel; es ist durch das Harz 37 integriert. Das piezoelektrische Bauelement 30B kann am Umfang unterteilt sein oder es kann integral vorliegen.

Fig. 5 ist ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels, das die an das piezoelektrische Bauelement 30 anzulegende Spannung steuert. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird eine Verformung der Gradientenmagnetfeldspule erfaßt, und die an das piezoelektrische Bauelement 30 angelegte Spannung wird abhängig vom Meßwert eingestellt. Ein piezoelektrisches Bauelement 40 zum Umsetzen elektrischer Energie in mechanische Energie ist in der Nähe des oben beschriebenen piezoelektrischen Bauelements 30 angeordnet, und es erfaßt die Verformung des Spulenhalters, wie sie durch eine elektromagnetische Kraft hervorgerufen wird, die dann entsteht, wenn ein Strom durch die Gradientenmagnetfeldspule geschickt wird. Dieses Bauelement 40 gibt eine Spannung proportional zur Größe der Verformung aus. Eine Steuerung 42a setzt diese Spannung von einem analogen Wert in einen digitalen Wert um, wendet einen Gewichtungskoeffizienten an, gibt eine digitale Größe der an das piezoelektrische Bauelement 30 angelegten Spannung so aus, daß der Wert Null wird, und sie steuert die Spannungsversorgung 44 an. Das piezoelektrische Bauelement 30 wird vom Ausgangssignal der Steuerung 42a betrieben. Wenig Schwingung und wenig Geräusche können effektiver erzielt werden, wenn in

diesem Fall mehrere piezoelektrische Bauelemente 40 innerhalb des Spulenhalters verteilt werden. Vorzugsweise umfaßt das piezoelektrische Bauelement 40 ein Bauelement, das mit seiner gesamten Fläche am Spulenhalter befestigt ist, und ein Bauelement, bei dem ein wenig flexibles Teil in der Mitte angeordnet ist und das nur in seinem Endbereich am Spulenhalter befestigt ist, auf dieselbe Weise, wie es beim piezoelektrischen Bauelement 30 des ersten Ausführungsbeispiels ist.

Das Verformungsausmaß des Spulenhalters kann durch das piezoelektrische Bauelement 30 gemessen werden. In diesem Fall wird das Verformungsausmaß in einem Speicher innerhalb der Steuerung 42a abgelegt. Spannung wird dadurch an das piezoelektrische Bauelement 30 angelegt, daß dieses Verformungsausmaß nachgeschlagen wird und der Spulenhalter eine Verformung erleidet kann.

Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das ein anderes Beispiel zum Steuern der an das piezoelektrische Bauelement 30 anzulegenden Spannung zeigt. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird Gradientenmagnetfeld-Ansteuerinformation von der Ablaufsteuerung 7, d. h. der an die Gradientenmagnetfeldspule zu liefernde Impulsstrom, in die Steuerung 42 eingegeben, und das Signal wird, nachdem eine Gewichtung auf diesen Wert angewandt wurde, dazu verwendet, die Spannungsversorgung so anzusteuern, daß Spannung an das piezoelektrische Bauelement 30 gelegt wird. Unter der Information von der Ablaufsteuerung 7 befindet sich die Gradientenmagnetfeldstärke, der Anwendungszeitpunkt und die verwendete Anwendungssachse.

Die Gewichtungsgröße wird auf die folgende Weise bestimmt. Die Spannung in jedem Bereich des piezoelektrischen Bauelements, wie sie auftritt, wenn dieses vorab mit einer bestimmten Gradientenmagnetfeldstärke ( $G_0$ ) nur in X-Richtung betrieben wird, wird A/D-Umsetzung unterworfen, und der Wert wird im Speicher der Steuerung 42b abgelegt. Derselbe Ablauf wird auf dieselbe Weise in den Fällen des Y- und Z-Gradientenmagnetfelds ausgeführt, und es wird derjenige Anteil (Gewichtungsgröße) der Spannung ermittelt, die an jedes piezoelektrische Bauelement anzulegen ist, wenn Betrieb mit dem Gradientenmagnetfeld für jede Achse erfolgt. Der so erhaltene Wert wird im Speicher abgelegt. Es ist hier angenommen, daß die Gewichtungsgrößen für ein bestimmtes piezoelektrisches Bauelement, die durch Ansteuern in jeder Achse ermittelt wurden,  $k_{1x}$ ,  $k_{2y}$  und  $k_{3z}$  sind. Wenn eine Bilderstellungsfolge in der Praxis ausgeführt wird, existieren viele Fälle, bei denen mehrere Gradientenmagnetfelder gleichzeitig angelegt werden. Wenn die Stärke des Gradientenmagnetfelds während der Bilderstellung  $G$  ist und Gradientenmagnetfelder gleichzeitig in drei Achsen angelegt werden, ist die an ein piezoelektrisches Bauelement 30 angelegte Spannung wie folgt gegeben:

$$-G(k_{1x} + k_{2y} + k_{3z})/G_0$$

Diese Spannung wird mit einer zeitlichen Lage angelegt, die auf dem Ausgangssignal der Ablaufsteuerung 7 beruht. Auch existiert der Fall, daß die Anwendungsfolge der Gradientenmagnetfelder vorab abhängig von der zu untersuchenden Person festgelegt wird. In diesem Fall wird auch die Folge von Spannungen  $-G(k_{1x} + k_{2y} + k_{3z})/G_0$  vorab festgelegt. Demgemäß wird diese Spannungsfolge im Speicher der Steuerung abgelegt, und die Verformung des piezoelektrischen Bauelements wird auf Grundlage dieser Spannungsfolge eingestellt.

Fig. 7 ist eine perspektivische Ansicht einer zylindrischen Gradientenmagnetfeldspule gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei ein Teil der Spule zum Erleichtern der Erläuterung weggeschritten ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel weist die Gradientenmagnetfeldspule Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 190 zum Erzeugen sich linear in den Richtungen X, Y und Z ändernder Magnetfelder, einen Spulenhalter 191 aus faserverstärktem Kunststoff als Halteteil zum Halten dieser Spulenleiter und piezoelektrische Bauelemente 130a und 130b auf, die auf solche Weise angeordnet sind, daß sich die Umsetzungswirkungsrate abhängig von den Richtungen unterscheiden.

In dieser Zeichnung ist von den Spulenleitern nur der Y-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 190 dargestellt, während der X- und Z-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter aus der Zeichnung weggelassen sind. Jeder Gradientenmagnetfeldspule-Leiter ist durch Klebung oder Verschraubung am Spulenhalter 191 befestigt. Wenn ein Gradientenmagnetfeldspule-Leiter aufgrund der auf ihn wirkenden elektromagnetischen Kraft beim Betreiben der Spule verformt wird, erfährt der Spulenhalter 191 gemeinsam mit dem Spulenleiter Verformungen.

Das piezoelektrische Bauelement 130 (130a, 130b) ist eine Wandlervorrichtung, die elektrische Energie in mechanische Energie und umgekehrt umsetzt, und ihr Wandlerwirkungsgrad ist in der Polarisationsrichtung größer als in den anderen Richtungen. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist daher das eine piezoelektrische Bauelement 130a so angeordnet, daß der Wandlungswirkungsgrad in axialer Richtung (Z-Richtung) größer wird, d. h. auf solche Weise, daß die Polarisationsrichtung in axialer Richtung liegt, und das andere piezoelektrische Bauelement 130b ist so angeordnet, daß der Wandlungswirkungsgrad in Umfangsrichtung größer ist, d. h. auf solche Weise, daß die Polarisationsrichtung in Umfangsrichtung liegt. Gemäß dieser Anordnung können Spannungen im wesentlichen nur in der Polarisationsrichtung übertragen werden, wenn eine Spannung an das piezoelektrische Bauelement angelegt wird, um die elektromagnetische Kraft zu kompensieren.

Anders gesagt, haben dann, wenn der Spulenhalter in der Nähe des Y-Gradientenmagnetfeldspule-Leiters 190, wie in Fig. 7 dargestellt, eine Verformung erleidet, die Belastung in axialer Richtung und die Belastung in Umfangsrichtung entgegengesetzte Polaritäten, aber im wesentlichen denselben Absolutwert. In diesem Fall kann bei der Anordnung, bei der die Polarisationsrichtung vertikal zur Anordnungsebene A steht, wie in Fig. 8 dargestellt, der Effekt auftreten, daß im Gegenteil die Belastung in Y-Richtung gefördert wird, wenn eine Spannung angelegt wird, um die Belastung in X-Richtung zu kompensieren. Anders gesagt, existiert der Fall, daß die Verformung des Spulenhalters nicht wirkungsvoll kompensiert werden kann. Die Belastungen können getrennt in zwei Richtungen übertragen werden, wenn die piezoelektrischen Bauelemente 30a, 30b kombiniert werden, deren Polarisationsrichtungen parallel zur Anordnungsebene der piezoelektrischen Bauelemente liegen (siehe Fig. 9), wobei es sich um voneinander verschiedene Richtungen handelt. Durch diese Anordnung kann der Kompensationswirkungsgrad gegen Schwingungen durch Spulenhalterverformungen verbessert werden.

Wie vorstehend beschrieben, ist das piezoelektrische Bauelement 130 durch einen Kleber mit kleiner Dämpfung mit dem Spulenhalter 191 verklebt. Vorzugsweise sind mehrere piezoelektrische Bauelemente 130 verteilt

innerhalb des Spulenhalters angeordnet, durch welche Vorgehensweise geringe Schwingung und wenig Geräusche wirkungsvoller erzielt werden können. Wenn Information zur Verformung des Spulenhalters 191 vorab vorliegt, kann das piezoelektrische Bauelement oder können die Bauelemente 130 selektiv an einer Position (an Positionen) angeordnet werden, wo der Spulenhalter 191 mit besonderer Wahrscheinlichkeit Verformungen erfährt. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist das piezoelektrische Bauelement 130 so angeordnet, daß es sich entlang dem Gradientenmagnetfeldspule-Leiter erstreckt.

Das auf die vorstehend beschriebene Weise angeordnete piezoelektrische Bauelement 130 kann als Aktor verwendet werden, das beim Anlegen elektrischer Spannung elektrische Energie in mechanische Energie umsetzt und die elektromagnetische Kraft des Gradientenmagnetfeldspule-Leiters kompensiert, aber es kann auch als Meßeinrichtung zum Messen von Verformungen durch Umsetzen der aus der Verformung des Gradientenmagnetfeldspule-Leiters herrührenden Belastung des Spulenhalters 191 in elektrische Energie umsetzen, d. h., es kann als Aktor und als Sensor wirken. Ferner kann ein piezoelektrisches Bauelement als Meßeinrichtung in der Nähe des piezoelektrischen Bauelementen 130 mit der vorstehend beschriebenen Struktur zusätzlich zum piezoelektrischen Bauelement 130 angeordnet sein. Auch in diesem Fall sind vorzugsweise mehrere piezoelektrische Bauelemente als Meßeinrichtung verteilt innerhalb des Spulenhalters angeordnet, auf dieselbe Weise wie das in Fig. 7 dargestellte piezoelektrische Bauelement 130, wodurch wenig Schwingungen und wenig Geräusche effektiver erzielt werden können.

Das piezoelektrische Bauelement 130 ist mit einer Steuereinheit und einer Spannungsversorgung verbunden, die in der Zeichnung nicht dargestellt sind. Die Steuereinheit steuert die Spannungsversorgung auf Grundlage der Information zur zu kompensierenden elektromagnetischen Kraft, und sie legt als elektrische Energie Spannung an, damit das piezoelektrische Bauelement mechanische Energie erzeugt, die die elektromagnetische Kraft kompensiert. Diese Information zur elektromagnetischen Kraft kann durch das piezoelektrische Bauelement zum Umsetzen mechanischer Energie in elektrische Energie, das das Verformungsausmaß des Spulenhalters mißt, erhalten werden. Elektrische Energie des piezoelektrischen Bauelements, das das Verformungsausmaß des Spulenhalters mißt, wird als elektrisches Signal an die Steuereinheit geliefert, und es wird dazu verwendet, das piezoelektrische Bauelement anzusteuern und zu betreiben, das elektrische Energie in mechanische Energie umsetzt. Gradientenmagnetfeldspule-Ansteuerinformation (Intensität des Gradientenmagnetfelds, zeitliche Steuerung) von der Ablaufsteuerung kann als Information zur elektromagnetischen Kraft verwendet werden.

Fig. 10 zeigt die Struktur einer Gradientenmagnetfeldspule gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist jedes piezoelektrische Bauelemente 130 über Zwischenteil 142a, 142b im Spulenhalter 191 aus faserverstärktem Kunststoff der Gradientenmagnetfeldspule angeordnet, wobei die Polarisationsrichtung vertikal zum Spulenhalter 191 steht. Die restliche Struktur der Gradientenmagnetfeldspule ist dieselbe wie diejenige der in Fig. 7 dargestellten Spule, mit jeweils einem X-, Y- und Z-Gradientenmagnetfeldspule-Leiter zum Erzeugen von Magnetfeldern, die sich linear in den Richtungen X, Y bzw. Z

ändern, und mit dem Spulenhalter 191 aus faserverstärktem Kunststoff zum Halten derselben.

Wie in Fig. 11 dargestellt, ist jedes Zwischenteil 142a, 142b im wesentlichen rechteckig, es verfügt über eine Aussparung 143 im mittleren Teil auf der Seite, an der es am Spulenhalter 191 befestigt ist, und es verfügt an seinen beiden Enden über Vorsprünge 144, die durch einen Kleber mit geringer Dämpfung am Spulenhalter 191 festgeklebt sind. Der Endbereich jedes Zwischenteils 142a, 142b in der beide Endbereiche kreuzenden Richtung ist ein freies Ende. Der Vorsprung 144 des Zwischenteils 142a ist in axialer Richtung (Z-Richtung) festgeklebt, und der Vorsprung 144 des Zwischenteils 142b ist in Umfangsrichtung des Spulenhalters festgeklebt.

Die Zwischenteile 142a, 142b bestehen aus Kunststoff, und sie können in der Richtung der Vorsprünge 144, 144 (in der Y-Richtung in Fig. 11) leicht verformt werden. Jedoch können sie aufgrund der Steifheit der Vorsprünge 144 in X-Richtung nur schwer verformt werden. Demgemäß wird die Verformung des piezoelektrischen Bauelements 130 unidirektional an den Spulenhalter übertragen, d.h. nur in Y-Richtung.

Die piezoelektrischen Bauelemente des dritten und vierten Ausführungsbeispiels werden auf dieselbe Weise angesteuert wie die piezoelektrischen Bauelemente des ersten und zweiten Ausführungsbeispiels.

Fig. 12A ist ein Querschnitt durch eine zylindrische Gradientenmagnetfeldspule gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung, und Fig. 12B ist eine zugehörige vergrößernde Teilansicht. Bei diesem Ausführungsbeispiel verfügt die Gradientenmagnetfeldspule 209 über eine Struktur, bei der der Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 240 zum Erzeugen der sich linear in den Richtungen X, Y und Z ändernden Magnetfelder sowie der Spulenhalter 241 aus faserverstärktem Kunststoff als Halteteil zum Halten der Spulen aufeinanderlaminiert sind, wobei der Spulenleiter 240 durch einen Kleber 251 oder durch eine Verschraubung am Spulenhalter 241 befestigt ist. Übrigens können die Gradientenmagnetfeldspule-Leiter für die Richtungen X, Y und Z in der Praxis in verschiedenen Schichten ausgebildet sein, obwohl die Zeichnungen eine Struktur zeigen, die einen Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 240 und den Spulenhalter 241 zeigen.

Piezoelektrische Bauelemente 230a und 230c sind innerhalb des Spulenhalters 241 einer solchen Gradientenmagnetfeldspule angeordnet, und piezoelektrische Bauelemente 230b und 230d sind zwischen dem Spulenhalter 241 und dem Spulenleiter 240 angeordnet. Diese piezoelektrischen Bauelemente 230a bis 230d sind durch einen Kleber mit geringer Dämpfung am Spulenhalter 241 festgeklebt. Alternativ können die piezoelektrischen Bauelemente an einem Kunststoff befestigt sein, der die Außenform der Spule vergießt.

Im allgemeinen weist ein piezoelektrisches Bauelement in seiner Polarisationsrichtung einen größeren Wandlungswirkungsgrad als in anderen Richtungen auf. Demgemäß kann dann, wenn Spannung an das piezoelektrische Bauelement angelegt wird, eine Beanspruchungskraft nur in der Polarisationsrichtung ausgeübt werden, und vorzugsweise wird ein piezoelektrisches Bauelement verwendet, dessen Polarisationsrichtung parallel zur Ebene liegt, in der es angeordnet (befestigt) ist. Übrigens liegt bei piezoelektrischen Bauelementen die Polarisationsrichtung im allgemeinen in der Dickenrichtung, und in diesem Fall kann eine Beanspruchungskraft nur dadurch in einer gewünschten Rich-

tung für eine resultierende Kraft ausgeübt werden, daß die Breite des piezoelektrischen Bauelements in einer Richtung vergrößert wird, die die Richtung der gewünschten resultierenden Kraft rechtwinklig schneidet. Wenn die resultierende Kraft klein ist, kann ferner eine große resultierende Kraft dadurch erzielt werden, daß eine große Anzahl piezoelektrischer Bauelemente in Dickenrichtung aufeinanderlaminiert wird.

Bei dem in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiel sind die piezoelektrischen Bauelemente 230a und 230b so angeordnet, daß der Spulenhalter 241 zwischen ihnen angeordnet ist, oder anders gesagt, sind sie so angeordnet, daß die Spalte zwischen ihnen in Laminatrichtung liegen, so daß ihre Polarisationsrichtungen mit der axialen Richtung des Zylinders ausgerichtet sind. Ferner bilden sie ein Paar. Andererseits sind die piezoelektrischen Bauelemente 230c und 230d so angeordnet, daß sie den Spulenhalter zwischen sich so halten, daß die Polarisationsrichtung mit der Umfangsrichtung des Zylinders ausgerichtet ist. Auch sie bilden ein Paar. Übrigens ist in der Zeichnung nur ein Satz piezoelektrischer Bauelementepaare, d.h. piezoelektrische Bauelemente 230a und 230b sowie piezoelektrische Bauelemente 230c und 230d, dargestellt, jedoch sind vorzugsweise mehrere Sätze derartiger piezoelektrischer Bauelementepaare entlang der Umfangs- und der axialen Richtung verteilt so angeordnet, daß die Anordnung der Paare mit verschiedenen Polarisationsrichtungen abwechselnd in Umfangsrichtung erscheint. Auf diese Weise können wenig Schwingungen und wenig Geräusche effektiver erzielt werden. Wenn Verformungsinformation für den Spulenhalter 241 vorab vorliegt, können das piezoelektrische Bauelement oder die Bauelemente selektiv an Positionen angeordnet sein, an denen der Spulenhalter 241 mit besonders hoher Wahrscheinlichkeit eine Verformung erfährt.

Beim vorstehend beschriebenen Aufbau ist ungefähr 1/2 der Summe der an das Paar piezoelektrischer Bauelemente 230a, 230b angelegter Spannungen proportional zur einfachen Kompressionskraft oder Zugkraft, wie sie in der Polarisationsrichtung auftreten, und ungefähr 1/2 der Differenz der an das Paar piezoelektrischer Bauelemente 230a, 230b angelegten Spannungen ist proportional zur Momentenkraft. Anders gesagt, ist dann, wenn  $+x_1$  (V) an das piezoelektrische Bauelement 230a angelegt wird und  $+x_2$  (V) an das piezoelektrische Bauelement 230b angelegt wird, die auf den Spulenhalter wirkende Kompressionskraft (Zugkraft)  $+(x_1 + x_2)/2$  und die Momentenkraft ist  $(x_1 - x_2)/2$ . Demgemäß tritt keine Momentenkraft auf, wenn  $x_1 = x_2$  gilt, und es tritt keine Kompressionskraft (Zugkraft) auf, wenn  $x_1 = -x_2$  gilt.

Die Fig. 13A und 13B zeigen schematisch den Betrieb eines solchen piezoelektrischen Bauelements. Wenn dieselbe Spannung mit derselben Polarität gleichzeitig an das Paar piezoelektrischer Bauelemente 230a, 230b angelegt wird ( $x_1 = x_2$ ), können die einfache Kompressionskraft oder Zugkraft, die in Umfangsrichtung wirkt, wie in Fig. 13A dargestellt, und die einfache Kompressionskraft oder Zugkraft in entgegengesetzter Richtung, die in axialer Richtung des Spulenhalters 241 auftritt, beschränkt werden. Wenn Spannungen mit einander entgegengesetzten Polaritäten an das Paar piezoelektrischer Bauelemente 230a, 230b gelegt werden, tritt eine Momentenkraft in axialer Richtung auf, wie in Fig. 13B dargestellt, die die im Spulenhalter 241 in entgegengesetzter Richtung wirkende Momentenkraft kompensieren kann. Auf ähnliche Weise kann die einfache

che Kompressionskraft oder Zugkraft oder die Momentenkraft des Spulenhalters in Umfangsrichtung für das Paar piezoelektrischer Bauelemente 230c, 230d beschränkt werden.

Wenn die Gradientenmagnetfeldspule betrieben wird und der Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 240 aufgrund der auf ihn wirkenden elektromagnetischen Kraft eine Verformung erfährt, wirken die Zugkraft und die Momentenkraft zusammengesetzt sowohl in Umfangs- als auch axialer Richtung auf die Spulenhalter 241, jedoch werden die an das erste und zweite piezoelektrische Bauelement 230a, 230b oder die piezoelektrischen Bauelemente 230c, 230d angelegten Spannungen durch die noch zu erläuternde Steuereinrichtung für die piezoelektrischen Bauelemente auf solche Weise gesteuert, daß Kräfte erzeugt werden, die in entgegengesetzter Richtung zu diesen Kräften wirken. Auf diese Weise können in jeder Richtung Schwingungen, die von der einfachen Kompressionskraft und der Zugkraft sowie Schwingungen, die von der Momentenkraft herrühren, wirkungsvoll unterdrückt werden.

Bei dem in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiel sind das erste und zweite piezoelektrische Bauelement so vertikal angeordnet, daß der Spulenhalter 241 zwischen ihnen gehalten wird, jedoch sind sie mit einer Lücke zwischen ihnen in Laminatrichtung angeordnet. Zum Beispiel können sie an der äußersten Schicht und der innersten Schicht des Zylinders angeordnet sein, oder sie können zwischen dem Spulenhalter 241 und dem Spulenleiter 240 und auf der äußersten Schicht angeordnet sein.

Das vorstehende Ausführungsbeispiel erläutert einen Fall, bei dem das piezoelektrische Bauelement als Aktor wirkt, jedoch kann das piezoelektrische Bauelement als Sensor verwendet werden, um mit derselben Anordnung Verformung der Gradientenmagnetfeldspule zu messen. In diesem Fall kann die Verformung durch die Polarität und die Größe der zwischen einem Paar piezoelektrischer Bauelemente, hervorgerufen durch Verformung (Kompression, Verlängerung) des Bereichs zwischen den piezoelektrischen Bauelementen auftretenden Spannung, gemessen werden. Ferner kann das piezoelektrische Bauelement gleichzeitig als Aktor und als Sensor arbeiten. In diesem Fall sind vorzugsweise mehrere piezoelektrische Bauelemente als Sensoren innerhalb des Spulenhalters auf dieselbe Weise verteilt wie das in Fig. 12B dargestellte piezoelektrische Bauelement, wodurch wenige Schwingungen und wenig Geräusche effektiver erzielt werden können.

Die Fig. 14A und 14B zeigen die Struktur der Gradientenmagnetfeldspule gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel. Auch dieses Ausführungsbeispiel beschäftigt sich mit einer zylindrischen Gradientenmagnetfeldspule, die eine Haupt-Gradientenmagnetfeldspule (nachfolgend als "Hauptspule" bezeichnet) 209 und eine Abschirmspule 209' aufweist. Sowohl die Hauptspule 209 als auch die Abschirmspule 209' weisen einen Spulenleiter 240, 240' zum Erzeugen eines Magnetfelds, das sich linear in den Richtungen X, Y und Z ändert, und einen Spulenhalter (Hauptspulenhalter 241, Abschirmspulenhalter 242) als Halteteil zum Halten des Spulenleiters 240, 240' auf. Die Spulenleiter 240 und 240' sind z. B. durch einen Epoxidharzkleber an der Innenumfangsfläche des Hauptspulenhalters 241 bzw. des Abschirmspulenhalters 242 befestigt, und der Spulenleiter 240 der Hauptspule 209 und der Spulenhalter 242 der Abschirmspule 209' sind über einen Kunststoff 251 mit hoher Steifigkeit verbunden, und diese Teile sind insge-

samt integriert.

Bei der vorstehend beschriebenen Gradientenmagnetfeldspule sind die ersten piezoelektrischen Bauelemente 230a, 230c an der Innenseite des Spulenhalters 5 befestigt, und die zweiten piezoelektrischen Bauelemente 230b, 230d sind an der Innenseite des Abschirmspulenhalters 242 befestigt. Die piezoelektrischen Bauelemente 230a und 230b sind mit Spalten zwischen ihnen in Laminatrichtung angeordnet, und die piezoelektrischen Bauelemente 230c und 230d sind mit Spalten zwischen ihnen in Laminatrichtung angeordnet. Die Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Bauelemente 230a, 230b liegt in axialer Richtung und diejenige der piezoelektrischen Bauelemente 230c, 230d liegt in Umfangsrichtung, auf dieselbe Weise wie beim fünften Ausführungsbeispiel, und mehrere Paare sind verteilt in der zylindrischen Gradientenmagnetfeldspule angeordnet.

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel kann, wenn die Größen und Polaritäten an die Paare piezoelektrischer Bauelemente, die mit Spalten in Laminatrichtung angeordnet sind, angelegten Spannungen auf dieselbe Weise wie beim fünften Ausführungsbeispiel geeignet gesteuert werden, eine einfache Kompressionskraft und Zugkraft oder die Momentenkraft auf die Teile des Spulenhalters und des Spulenleiters wirken, die zwischen den piezoelektrischen Bauelementen liegen, und Schwingungen, die beim Betreiben der Gradientenmagnetfeldspule auftreten, können kompensiert werden.

Die piezoelektrischen Bauelemente beim fünften und sechsten Ausführungsbeispiel werden auf dieselbe Weise wie die piezoelektrischen Bauelemente beim ersten und zweiten Ausführungsbeispiel angesteuert.

Fig. 15A ist ein Querschnitt durch die zylindrische Gradientenmagnetfeldspule gemäß dem siebten Ausführungsbeispiel der Erfindung, und Fig. 15B ist eine vergrößerte Teilansicht. In diesem Ausführungsbeispiel verfügt die Gradientenmagnetfeldspule 309 über eine Struktur, bei der der Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 340 zum Erzeugen des Gradientenmagnetfelds, das sich 35 in den Richtungen X, Y und Z linear ändert, und der Spulenhalter 341 aus faserverstärktem Kunststoff als Halteteil zum Halten der Spulen aufeinanderlaminiert sind und der Spulenhalter 340 durch Verkleben oder Verschrauben am Spulenhalter 341 befestigt ist. Übrigens können die Gradientenmagnetfeldspule-Leiter für die Richtungen X, Y und Z in verschiedenen Schichten ausgebildet sein, obwohl die Zeichnungen eine Struktur zeigen, die nur einen Gradientenmagnetfeldspule-Leiter 340 und einen Spulenhalter 341 enthält.

Die piezoelektrischen Bauelemente 330a und 330c sind innerhalb des Spulenhalters 341 einer solchen Gradientenmagnetfeldspule angeordnet, und die piezoelektrischen Bauelemente 330b und 330d sind außerhalb des Spulenleiters 340 angeordnet. Diese piezoelektrischen Bauelemente 330a bis 330d sind durch einen Kleber mit geringer Dämpfung an den Spulenleiter 340 geklebt. Alternativ können die piezoelektrischen Bauelemente an einem Kunststoff befestigt sein, der die Außenseite der Spule durch Umgießen umgibt.

Diese piezoelektrischen Bauelemente 330 (330a bis 330d) weisen dünne, folienförmige Laminatteile auf, die in der Polarisationsrichtung 350 aufeinanderlaminiert sind, wobei Elektroden mit im wesentlichen derselben Fläche zwischen die piezoelektrischen Bauelemente 330 eingelegt sind. Die Laminatteile sind auf solche Weise laminiert, daß die Polarisationsrichtungen abwechselnd entgegengesetzt gerichtet sind. Die piezoelektrischen Bauelemente 330 jeder zweiten Schicht sind durch ex-

terne Elektroden parallel geschaltet und erfahren selbst dann Verformungen in derselben Richtung, wenn die Spannung an der Grenzfläche zwischen benachbarten piezoelektrischen Bauelementen dieselbe ist. Darüber hinaus kann, weil eine große Anzahl piezoelektrischer Bauelemente aufeinanderlaminiert ist, in der Polarisationsrichtung aufgrund der vertikalen Wirkung eine große Wandlungsgesamtenergie erhalten werden.

Als piezoelektrische Bauelemente können in geeigneter Weise piezoelektrische Keramiken, die den piezoelektrischen Effekt zeigen, verwendet werden, wie solche aus dem  $\text{BaTiO}_3$ -System, dem  $\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$ -System usw.

Um mit komplizierten Verformungen der Gradientenmagnetfeldspule fertigzuwerden, werden bevorzugt piezoelektrische Bauelemente mit verschiedenen Polarisationsrichtungen kombiniert und verwendet. Das in den Zeichnungen dargestellte Ausführungsbeispiel verwendet piezoelektrische Bauelemente 330a, 330b, die so angeordnet sind, daß ihre Polarisationsrichtungen mit der Umfangsrichtung des Zylinders ausgerichtet sind, und es verwendet piezoelektrische Bauelemente 330c, 330d, die so angeordnet sind, daß ihre Polarisationsrichtungen mit der axialen Richtung des Zylinders ausgerichtet sind.

Ferner kann nur eines der piezoelektrischen Bauelemente 330a und 330b und nur eines der piezoelektrischen Bauelemente 330c und 330d in einer Richtung (in axialer Richtung oder Umfangsrichtung des Zylinders) angeordnet sein, jedoch bilden die piezoelektrischen Bauelemente 330a und 330b vorzugsweise ein Paar, während die piezoelektrischen Bauelemente 330c und 330d ein Paar bilden, und diese Paare sind auf solche Weise angeordnet, daß sie den Spulenleiter 340 und den Spulenhalter 341 zwischen sich oder anders gesagt, mit einem Spalt zwischen sich in radialer Richtung der Spule halten, wie in der Zeichnung dargestellt. Gemäß einer solchen Anordnung kann nicht nur eine einfache Kompressionskraft oder Zugkraft in planarer Richtung des piezoelektrischen Bauelements ausgeübt werden, sondern auch eine Momentenkraft (siehe Fig. 13A und 13B).

Übrigens zeigt die Zeichnung eine Anordnung, bei der die piezoelektrischen Bauelemente 330a, 330c innerhalb des Spulenhalters 341 angeordnet sind und die piezoelektrischen Bauelemente 330b, 330d außerhalb des Spulenleiters 340 angeordnet sind. Um die vorstehend beschriebene Funktion zu erhalten, muß jedoch das Paar piezoelektrischer Bauelemente nur so angeordnet sein, daß zwischen ihnen ein Abstand in radialer Richtung besteht. Demgemäß können die piezoelektrischen Bauelemente 330a, 330c oder die piezoelektrischen Bauelemente 330b, 330d z. B. zwischen dem Spulenleiter 340 und dem Spulenhalter 341 angeordnet sein.

Ferner zeigt die Zeichnung nur jeweils ein Paar piezoelektrischer Bauelemente 330a, 330b bzw. 330c, 330d, jedoch sind vorzugsweise mehrere Paare piezoelektrischer Bauelemente mit verschiedenen Polarisationsrichtungen ohne wesentlichen Abstand zwischen ihnen sowohl in Umfangs- als auch axialer Richtung so angeordnet, daß sie in Umfangsrichtung abwechseln. Mit einer solchen Anordnung können wenig Schwingungen und wenig Geräusche effektiver erzielt werden. Wenn Information zur Verformung des Spulenhalters 341 vorab vorliegt, können die piezoelektrischen Bauelemente selektiv an Positionen angeordnet werden, an denen der Spulenhalter 341 mit großer Wahrscheinlichkeit Verformungen erfährt. Die Paare piezoelektrischer Bauele-

mente 330a, 330b oder die Paare piezoelektrischer Bauelemente 330c, 330d können ohne wesentlichen Abstand zwischen den Paaren auf der gesamten Fläche des Spulenhalters angeordnet sein.

Nachfolgend erfolgt eine Erläuterung für ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Erfindung auf eine Gradientenmagnetfeldspule-Einrichtung angewandt ist, die eine Haupt-Gradientenmagnetfeldspule und eine Abschirmfspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds aufweist, das das von der Haupt-Gradientenmagnetfeldspule erzeugte äußere Magnetfeld kompensiert. Die Fig. 16A und 16B zeigen die Struktur einer solchen Gradientenmagnetfeldspule-Einrichtung. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Spule eine zylindrische Gradientenmagnetfeldspule mit einer Haupt-Gradientenmagnetfeldspule (nachfolgend als "Hauptspule" bezeichnet) 309 und einer Abschirmfspule 309'. Sowohl die Hauptspule 309 als auch die Abschirmfspule 309' weisen einen Spulenleiter 340, 340' zum Erzeugen eines sich in den Richtungen X, Y und Z linear ändernden Magnetfelds und einen Spulenhalter (Hauptspulenhäler 341, Abschirmspulenhäler 342) als Halteteil zum Halten dieser Spulenleiter 340, 340' auf. Die Spulenleiter 340, 340' sind z. B. durch einen Epoxidharzkleber am Außenumfang des Hauptspulenhälers 341 bzw. des Abschirmspulenhälers 342 befestigt, und der Spulenleiter 340 der Hauptspule 309 und der Spulenhalter 342 der Abschirmfspule 309' sind über ein Harz 351 hoher Steifigkeit miteinander verbunden und als Ganzes integriert.

Bei der vorstehend beschriebenen Gradientenmagnetfeldspule sind die piezoelektrischen Bauelemente 330a, 330c an der Innenseite des Spulenhalters 341 befestigt, und die piezoelektrischen Bauelemente 330b, 330d sind an der Innenseite des Abschirmspulenhälers 342 befestigt. Die piezoelektrischen Bauelemente 330a und 330b sind mit einem gegenseitigen Abstand in radialer Richtung der Spule angeordnet, während die piezoelektrischen Bauelemente 330c und 330d mit einem Abstand in radialer Richtung angeordnet sind. Auf dieselbe Weise wie bei dem in Fig. 15 dargestellten Ausführungsbeispiel liegt die Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Bauelemente 330a, 330b in Umfangsrichtung und diejenige der piezoelektrischen Bauelemente 330c, 330d liegt in axialer Richtung. Mehrere dieser Elektrodenpaare sind verteilt in der zylindrischen Gradientenmagnetfeldspule angeordnet.

Auch dieses Ausführungsbeispiel verwendet piezoelektrische Bauelemente in Form von Laminatteilen, die in der Polarisationsrichtung aufeinanderlaminiert sind, auf dieselbe Weise wie bei dem in Fig. 15 dargestellten Ausführungsbeispiel, wodurch große mechanische Energie in Polarisationsrichtung erzeugbar ist und Schwingungen wirkungsvoll kompensiert werden können, die beim Betreiben der Gradientenmagnetfeldspule auftreten.

Auch bei dem in Fig. 16 dargestellten Aufbau kann das piezoelektrische Bauelement als solches zum Umsetzen elektrischer Energie in mechanische Energie oder als solches zum Umsetzen mechanischer Energie in elektrische Energie oder als Bauelement mit diesen beiden Funktionen arbeiten. Was die Anordnung der piezoelektrischen Bauelemente betrifft, wird vorzugsweise ein Paar piezoelektrischer Bauelemente mit einem gegenseitigen Abstand in radialer Richtung angeordnet, jedoch kann gemäß dem Grundgedanken der Erfindung nur eines von ihnen vorhanden sein; die Erfindung ist nicht speziell auf die in den Zeichnungen dargestellten Anordnungen beschränkt.

Nachfolgend wird das achte Ausführungsbeispiel der Erfahrung beschrieben, das einen Kernspintomographen unter Verwendung von Energiewandler-Bauelementen in Form von piezoelektrischen Bauelementen betrifft, die auf solche Weise laminiert sind, daß die Polarisationsrichtungen der piezoelektrischen Bauelemente rechtwinklig zur Ebenenrichtung der Ebene stehen, in der die Laminatteile angeordnet sind.

Fig. 17 ist eine vergrößerte Teildarstellung einer Gradientenmagnetfeldspule mit einer solchen Struktur. Rechteckige piezoelektrische Bauelemente 330e, 330f sind innerhalb des Spulenhalters 341 der Gradientenmagnetfeldspule enthalten, die den Spulenleiter 340 und den Spulenhalter 341 umfaßt. Da der Rest der Konstruktion mit dem der in Fig. 15 dargestellten Gradientenmagnetfeldspule übereinstimmt, wird eine Erläuterung hierzu weggelassen. Jedes der piezoelektrischen Bauelemente 330e, 330f ist dadurch hergestellt, daß zwei piezoelektrische Bauelemente in ihrer Polarisationsrichtung 350 aufeinanderlaminiert sind. Das piezoelektrische Bauelement 330e ist auf solche Weise angeordnet, daß es in der Längsachse zur Umfangsrichtung des Zylinders ausgerichtet ist, während das piezoelektrische Bauelement 330f auf solche Weise angeordnet ist, daß seine Längsrichtung zur axialen Richtung des Zylinders ausgerichtet ist. Sie unterdrücken die Momentenkraft in Umfangs- oder axialer Richtung der Gradientenmagnetfeldspule unter Verwendung des transversalen piezoelektrischen Effekts.

Diese zwei piezoelektrischen Bauelemente sind auf solche Weise aufeinanderlaminiert, daß die Polarisationsrichtungen dieselben sind, und sie sind so mit Elektroden verbunden, daß positive und negative Spannungen angelegt werden können. Demgemäß wird, wenn eine Spannung an die piezoelektrischen Bauelemente angelegt wird, das eine derselben in Expansionsrichtung betrieben, während das andere in Kontraktionsrichtung betrieben wird. Auf diese Weise kann an das piezoelektrische Bauelement in Form eines Laminatteils eine Momentenkraft ausgeübt werden. Dieses Prinzip ist dasselbe wie das durch Fig. 13 veranschaulichte, und in diesem Fall kann die Momentenkraft unter Verwendung nur eines Laminatteils ausgeübt werden. Die sich ergebende Momentenkraft in Querrichtung im rechteckigen piezoelektrischen Bauelement ist größer als die in Längsrichtung. Aus diesem Grund ist das piezoelektrische Bauelement 330e auf solche Weise angeordnet, daß seine Längsrichtung in Umfangsrichtung liegt, wodurch eine größere Momentenkraft in axialer Richtung erzielt werden kann. Dagegen kann im Fall des piezoelektrischen Bauelements 330f, das auf solche Weise angeordnet ist, daß seine Längsrichtung in der axialen Richtung liegt, eine größere Momentenkraft in Umfangsrichtung erzielt werden. Demgemäß können Verformungen des Spulenhalters unterdrückt werden, und Schwingungen und Geräusche können dadurch unterdrückt werden, daß die piezoelektrischen Bauelemente auf solche Weise betrieben werden, daß die Momentenkraft kompensiert wird, die im Spulenhalter 341 auftritt, mit dem die piezoelektrischen Bauelemente verbunden sind.

Obwohl die Zeichnung einen Fall zeigt, bei dem die piezoelektrischen Bauelemente innerhalb des Spulenhalters 341 angeordnet sind, können sie auch zwischen dem Spulenhalter und der Spule oder außerhalb der Spule angeordnet sein. Ferner kann ein Paar piezoelektrischer Bauelemente mit einem gegenseitigen Abstand in radialer Richtung auf dieselbe Weise wie bei dem in Fig. 15 dargestellten Ausführungsbeispiel angeordnet

sein, oder die Anordnung der in Fig. 15 dargestellten piezoelektrischen Bauelemente kann in geeigneter Weise mit der in Fig. 17 dargestellten Anordnung piezoelektrischer Bauelemente kombiniert sein.

Das achte Ausführungsbeispiel kann auch auf eine Gradientenmagnetfeldspule angewandt werden, die, wie in Fig. 16 dargestellt, mit einer Abschirmspule 309' versehen ist.

Das in Fig. 17 dargestellte achte Ausführungsbeispiel repräsentiert einen Fall, bei dem positive und negative, entgegengesetzt gerichtete Spannungen an die zwei piezoelektrischen Bauelemente angelegt werden, die so aufeinanderlaminiert sind, daß ihre Polarisationsrichtungen übereinstimmen. Jedoch ist es möglich, mehrere piezoelektrische Bauelemente aufeinanderzulaminieren, deren Polarisationsrichtungen in der Richtung liegen, die die Anordnungsebene rechtwinklig in der Polarisationsrichtung schneidet, um die Elektroden so anzuschließen, daß Spannungen derselben Polarität an diese piezoelektrischen Bauelemente angelegt werden können und Verformungen in derselben Richtung hervorgerufen werden, auf dieselbe Weise wie bei Fig. 17.

Die piezoelektrischen Bauelemente beim siebten und achten Ausführungsbeispiel werden auf dieselbe Weise wie die piezoelektrischen Bauelemente beim ersten und zweiten Ausführungsbeispiel angesteuert.

Nachdem die Erfindung vorstehend im einzelnen beschrieben wurde, ist zu beachten, daß verschiedene Änderungen, Ersetzungen und Modifizierungen vorgenommen werden können, ohne vom Grundgedanken und dem Schutzbereich der Erfindung abzuweichen, wie sie durch die beigefügten Ansprüche definiert ist.

#### Patentansprüche

1. Kernspintomograph mit Geräuschkämpfung mit:
  - einer Erzeugungseinrichtung (2) für ein statisches Magnetfeld zum Erzeugen eines statischen Magnetfelds in einem Raum, in dem ein Untersuchungsobjekt angeordnet wird und
  - einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds in diesem Raum, die mit mindestens einer Gradientenmagnetfeldspule (21) und einem Halteteil (31) für diese Spule versehen ist, wobei das Halteteil eine Verformung durch elektromagnetische Kräfte erleidet, wenn ein Strom durch die Spule geführt wird;
- gekennzeichnet durch
  - eine Einrichtung (30), die am Halteteil der Spule befestigt ist, um eine Verformungen des Halteteils verhindernende Kraft anzulegen, um Verformungen des Halteteils im wesentlichen zu verhindern;
  - eine Einrichtung (14a) zum Anlegen eines hochfrequenten Magnetfelds an das Untersuchungsobjekt;
  - eine Einrichtung (14b) zum Messen von Kernspinresonanzsignalen vom Untersuchungsobjekt; und
  - eine Einrichtung (6) zum Erstellen eines das Untersuchungsobjekt wiedergebenden Bilds auf Grundlage der Kernspinresonanzsignale.
2. Kernspintomograph nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verformungsverhinderungseinrichtung ein am Halteteil befestigtes piezoelektrisches Bauelement (30) und eine Spannungssteuereinrichtung (40, 42a) zum Anlegen ei-

ner Spannung an das piezoelektrische Bauelement synchron zu dem der Gradientenmagnetfeldspule zugeführten Strom aufweist, wobei das piezoelektrische Bauelement, an das die Spannung angelegt ist, eine Verformung erfährt, die die dadurch erzeugte Kraft auf das Halteteil überträgt und im wesentlichen eine Verformung des Halteteils verhindert.

3. Kernspintomograph nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungssteuereinrichtung die Spannung abhängig von einer vorgegebenen Regel bezogen auf den der Gradientenmagnetfeldspule zugeführten Strom steuert.

4. Kernspintomograph nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungssteuereinrichtung die Spannung abhängig von einer vorgegebenen Folge steuert, die so eingestellt ist, daß sie einer Folge von der Gradientenmagnetfeldspule zugeführten Strömen entspricht.

5. Kernspintomograph nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (40) zum Messen der Verformung des Halteteils, wobei die Spannungssteuereinrichtung die Spannung auf Grundlage des Meßergebnisses der Verformungsmeßeinrichtung steuert.

6. Kernspintomograph nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung ein piezoelektrisches Bauelement ist, das ferner mit einer Einrichtung zum Ausgeben eines Spannungssignals entsprechend der Verformung des Halteteils und einer Speichereinrichtung zum Abspeichern des Spannungssignals versehen ist, wobei die Spannungssteuereinrichtung die Spannung unter Bezugnahme auf die in der Speichereinrichtung abgespeicherten Spannungssignale steuert.

7. Kernspintomograph nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrischen Bauelemente über die gesamte Zone des Halteteils im wesentlichen ohne Abstände angeordnet sind und die Spannungssteuereinrichtung Spannungen einzeln an jedes der piezoelektrischen Bauelemente oder an Gruppen derselben legt, die gemäß einer vorgegebenen Beziehung gruppiert sind.

8. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Verformungsvorzugsrichtung des piezoelektrischen Bauelements parallel zum Halteteil liegt.

9. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß abwechselnd erste piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der axialen Richtung des Halteteils zusammenfällt, und zweite piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der Umfangsrichtung des Halteteils zusammenfällt, angeordnet sind.

10. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Bauelement einen breiten Bereich und einen schmalen Bereich aufweist, wobei die Polarisationsrichtung desselben in der Normalenrichtung des Halteteils liegt und die Verformungsvorzugsrichtung in der Richtung liegt, in der sich der schmale Bereich erstreckt.

11. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisationsrichtung des piezoelektrischen Bauelements parallel zum Halteteil liegt und die genannte Verformungsvorzugsrichtung ist.

12. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch

gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Bauelement aus einem Laminat mehrerer piezoelektrischer Bauelementeinheiten besteht, deren Polarisationsrichtungen parallel zum Halteteil liegen.

13. Kernspintomograph nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere der piezoelektrischen Bauelementeinheiten erste Einheiten, deren Polarisationsrichtung in einer ersten Richtung liegt, und zweite Einheiten aufweisen, deren Polarisationsrichtung entgegengesetzt zu der der ersten Einheiten liegt, wobei die ersten Einheiten und die zweiten Einheiten abwechselnd aufeinanderlaminiert sind und Spannungen mit zueinander entgegengesetzten Richtungen an die ersten bzw. zweiten Einheiten angelegt werden.

14. Kernspintomograph nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Paar piezoelektrischer Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtungen zusammenfallen, in der Dickenrichtung des Halteteils angeordnet sind.

15. Kernspintomograph nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Paar der piezoelektrischen Bauelemente auf solche Weise angeordnet ist, daß sie das Halteteil zwischen sich halten.

16. Kernspintomograph nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Paar der piezoelektrischen Bauelemente überlagert auf einer der Flächen des Halteteils angeordnet ist.

17. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Bauelement über ein Zwischenteil (142) am Halteteil befestigt ist und sich das Zwischenteil nur in einer ersten Richtung ausdehnt und zusammenzieht, die im wesentlichen parallel zum Halteteil steht.

18. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrischen Bauelemente eine erste Gruppe, die an einem ersten Zwischenteil (142b) befestigt ist, das sich nur in der axialen Richtung des Halteteils ausdehnen und zusammenziehen kann, und eine zweite Gruppe aufweisen, die an einem zweiten Zwischenteil (142a) befestigt ist, das sich nur in der Umfangsrichtung des Halteteils ausdehnen und zusammenziehen kann, wobei das erste und zweite Zwischenteil abwechselnd am Halteteil befestigt sind.

19. Kernspintomograph nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Bauelement in das Halteteil eingefügt ist.

20. Kernspintomograph nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Bauelement (30b) am Halteteil (31) an einem Paar einander gegenüberstehender Kanten auf einer Oberfläche desselben befestigt ist und das Halteteil einen Bereich (34) zum Zurückweichen von den anderen Bereichen des piezoelektrischen Bauelements aufweist, so daß eine Kraft vom piezoelektrischen Bauelement auf das Halteteil nur in Richtung des Paars Kanten ausgeübt wird.

21. Kernspintomograph mit Geräuschkämpfung mit:

- einem Hauptmagnet (2) zum Erzeugen eines statischen Magnetfelds in einem Raum, in dem ein Untersuchungsobjekt anordnbar ist;
- einer Gradientenmagnetfeldspule (21) zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds im genannten Raum und
- einem Spulenhalter (31) zum Halten der

Gradientenmagnetfeldspule, wobei der Spulenhalter Verformungen durch eine elektromagnetische Kraft erfährt, wie sie erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Gradientenmagnetfeldspule geleitet wird; gekennzeichnet durch

- ein piezoelektrisches Bauelement (30), das am Spulenhalter befestigt ist;
- eine Spannungssteuerschaltung (40, 42a) zum Anlegen von Spannungen an das piezoelektrische Bauelement, die solche Verformungen desselben hervorrufen, daß die Verformung des Spulenhalters aufgrund der elektromagnetischen Kraft verhindert wird;
- eine Hochfrequenzspule (14a) zum Anlegen eines hochfrequenten Magnetfelds an das Untersuchungsobjekt;
- eine Meßspule (14b) zum Erfassen von Kernspinresonanzsignalen vom Untersuchungsobjekt;
- eine Schaltung (8) zum Erstellen eines Bilds auf Grundlage der Kernspinresonanzsignale und
- eine Anzeigevorrichtung (20) zum Darstellen des Bilds.

22. Kernspintomograph mit Geräuschkämpfung mit:

- einer Erzeugungseinrichtung (2) für ein statisches Magnetfeld zum Erzeugen eines statischen Magnetfelds in einem Raum, in dem ein Untersuchungsobjekt angeordnet wird und
- einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds in diesem Raum, die mit mindestens einer Gradientenmagnetfeldspule (21) und einem Halteteil (31) für diese Spule versehen ist, wobei das Halteteil eine Verformung durch elektromagnetische Kräfte erleidet, wenn ein Strom durch die Spule geführt wird; gekennzeichnet durch
- eine Einrichtung (30), die an der Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung befestigt ist, um auf diese eine Kraft auszuüben, die eine Verformung derselben im wesentlichen verhindert;
- eine Einrichtung (14a) zum Anlegen eines hochfrequenten Magnetfelds an das Untersuchungsobjekt;
- eine Einrichtung (14b) zum Messen von Kernspinresonanzsignalen vom Untersuchungsobjekt; und
- eine Einrichtung (6) zum Erstellen eines das Untersuchungsobjekt wiedergebenden Bilds auf Grundlage der Kernspinresonanzsignale.

23. Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung für einen Kernspintomographen, mit:

- einer Gradientenmagnetfeldspule (21) zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds in einem Raum, in dem ein Untersuchungsobjekt anordnenbar ist und
- einem Halteteil (31) zum Halten der Spule; gekennzeichnet durch
- eine am Halteteil befestigte Einrichtung (30) zum Ausüben einer Kraft auf das Halteteil, die Verformungen desselben im wesentlichen verhindert.

24. Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die

Verformungsverhinderungseinrichtung ein am Halteteil befestigtes piezoelektrisches Bauelement (30) und eine Spannungssteuereinrichtung (40, 42a) zum Anlegen einer Spannung an das piezoelektrische Bauelement synchron zu dem der Gradientenmagnetfeldspule zugeführten Strom aufweist, wobei das piezoelektrische Bauelement, an das die Spannung angelegt ist, eine Verformung erfährt, die die dadurch erzeugte Kraft auf das Halteteil überträgt und im wesentlichen eine Verformung des Halteteils verhindert.

25. Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrischen Bauelemente über die gesamte Zone des Halteteils im wesentlichen ohne Abstände angeordnet sind und die Spannungssteuereinrichtung Spannungen einzeln an jedes der piezoelektrischen Bauelemente oder an Gruppen derselben legt, die gemäß einer vorgegebenen Beziehung gruppiert sind.

26. Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Verformungsvorzugsrichtung des piezoelektrischen Bauelements parallel zum Halteteil liegt.

27. Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß abwechselnd erste piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der axialen Richtung des Halteteils zusammenfällt, und zweite piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der Umfangsrichtung des Halteteils zusammenfällt, angeordnet sind.

28. Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Bauelement in das Halteteil eingeformt ist.

29. Geräuschkämpfungseinrichtung für eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds in einem Raum, in dem ein Untersuchungsobjekt anordnenbar ist, wobei die Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) mindestens eine Gradientenmagnetfeldspule (21) und ein Halteteil (31) für diese Spule aufweist, wobei das Halteteil Verformungen durch eine elektromagnetische Kraft erfährt, die erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Spule geschickt wird; gekennzeichnet durch:

- ein piezoelektrisches Bauelement (30), das am Halteteil befestigt ist und
- eine Spannungssteuereinrichtung (40, 42a) zum Anlegen einer Spannung an das piezoelektrische Bauelement synchron zu dem der Gradientenmagnetfeldspule zugeführten Strom;

— wobei das piezoelektrische Bauelement, an das die Spannung angelegt wird, eine Verformung erfährt und es eine davon herrührende Kraft an das Halteteil überträgt, um die Verformungen des Halteteils im wesentlichen zu unterdrücken, damit 5 Geräusche und Schwingungen von der Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung wirkungsvoll unterdrückt werden.

30. Geräuschkämpfungseinrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrischen Bauelemente über die gesamte Zone des Halteteils im wesentlichen ohne Abstände angeordnet sind und die Spannungssteuereinrichtung

Spannungen einzeln an jedes der piezoelektrischen Bauelemente oder an Gruppen derselben legt, die gemäß einer vorgegebenen Beziehung gruppiert sind.

31. Geräuschdämpfungseinrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Verformungsvorzugsrichtung des piezoelektrischen Bauelements parallel zum Halteteil liegt. 5

32. Geräuschdämpfungseinrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß abwechselnd erste 10 piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der axialen Richtung des Halteteils zusammenfällt, und zweite piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der Umfangsrichtung des Halteteils zusammenfällt, angeordnet sind. 15

33. Geräuschdämpfungseinrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Bauelement in das Halteteil eingeformt ist. 20

34. Geräuschdämpfungseinrichtung für eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds in einem Raum, in dem ein Untersuchungsobjekt anordnbar ist, wobei die Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) mindestens eine Gradientenmagnetfeldspule (21) und ein Halteteil (31) für diese Spule aufweist, wobei das Halteteil Verformungen durch eine elektromagnetische Kraft erfährt, die erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Spule geschickt wird; gekennzeichnet durch:

- ein piezoelektrisches Bauelement (30), das am Halteteil befestigt ist und
- eine Spannungssteuereinrichtung (40, 42a) zum Anlegen einer Verformungen des piezoelektrischen Bauelements erzeugenden Spannung in solcher Weise, daß Verformungen durch die elektromagnetische Kraft verhindert werden. 35

35. Feld aus piezoelektrischen Bauelementen, das an eine Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) angepaßt ist, die mindestens eine Gradientenmagnetfeldspule (21) und ein Halteteil (31) für die Spule aufweist, wobei das Halteteil der Spule Verformungen durch eine elektromagnetische Kraft erfährt, wie sie erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Spule geleitet wird; gekennzeichnet durch:

- mehrere piezoelektrische Bauelemente (130), die so angeordnet sind, daß sie einen Bereich vollständig ohne wesentliche Lücken abdecken, in dem eine Verformung des Halteteils erwartet wird und
- eine Einrichtung zum Befestigen der piezoelektrischen Bauelemente an der Halteteinrichtung. 55

36. Feld aus piezoelektrischen Bauelementen nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Verformungsvorzugsrichtung des piezoelektrischen Bauelements parallel zum Halteteil liegt.

37. Feld aus piezoelektrischen Bauelementen nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß abwechselnd erste piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der axialen Richtung des Halteteils zusammenfällt, und zweite piezoelektrische Bauelemente, deren Verformungsvorzugsrichtung mit der Umfangsrichtung des Halteteils zusammenfällt, angeordnet sind. 65

38. Feld aus piezoelektrischen Bauelementen nach

Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Befestigungseinrichtung aus Kunststoff besteht, die piezoelektrischen Bauelemente in die Befestigungseinrichtung eingeformt sind und die Befestigungseinrichtung dämpfungsfrei mit dem Halteteil verbunden ist.

39. Verfahren zum Unterdrücken von Geräuschen und Schwingungen einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) mit mindestens einer Gradientenmagnetfeldspule (21) und einem Halteteil (31) der Spule, das Verformungen durch eine elektromagnetische Kraft erfährt, die erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Spule geführt wird, um ein Gradientenmagnetfeld in einem Raum zu erzeugen, in dem ein Untersuchungsobjekt anordnbar ist; dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:

- einen Schritt zum Erfassen der Verformung des Halteteils, wenn Strom durch die Spule geschickt wird und
- einen Schritt des Anlegens einer Kraft an das Halteteil in einer Richtung parallel zu Ebenen desselben, um die erfaßte Verformung zu verhindern.

40. Verfahren zum Unterdrücken von Geräuschen und Schwingungen einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) mit mindestens einer Gradientenmagnetfeldspule (21) und einem Halteteil (31) der Spule, das Verformungen durch eine elektromagnetische Kraft erfährt, die erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Spule geführt wird, um ein Gradientenmagnetfeld in einem Raum zu erzeugen, in dem ein Untersuchungsobjekt anordnbar ist; dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren durch die folgenden Schritte gekennzeichnet ist:

- einen Schritt zum Erfassen des der Spule zugeführten Stroms;
- einen Schritt zum Bestimmen einer Kraft abhängig von der Beziehung zwischen vorab abgespeicherten Stromstärken und Kräften in einer Richtung parallel zu Ebenen des Halteteils, wobei die Kraft dazu dient, Verformungen des Halteteils durch den Strom zu verhindern und
- einen Schritt des Anlegens der so festgelegten Kraft an das Halteteil.

41. Verfahren zum Unterdrücken von Geräuschen und Schwingungen einer Gradientenmagnetfeld-Erzeugungseinrichtung (9) mit mindestens einer Gradientenmagnetfeldspule (21) und einem Halteteil (31) der Spule, das Verformungen durch eine elektromagnetische Kraft erfährt, die erzeugt wird, wenn ein Strom durch die Spule geführt wird, um ein Gradientenmagnetfeld in einem Raum zu erzeugen, in dem ein Untersuchungsobjekt anordnbar ist; dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren durch die folgenden Schritte gekennzeichnet ist:

- einen Schritt zum Festlegen einer Folge von der Spule zuführenden Strömen;
- einen Schritt zum Festlegen einer Folge von Kräften, die in einer Richtung parallel zu Ebenen des Halteteils anzulegen sind, wobei die Festlegung gemäß einer Beziehung zwischen einer vorab abgespeicherten Stromzuführfolge und einer Folge von Kräften erfolgt, die dazu erforderlich sind, Verformungen des Halteteils zu verhindern und

DE 44 32 747 A1

25

26

— einen Schritt des Anlegens der Folge so  
erhaltener Kräfte an das Halteteil.

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 7 \*

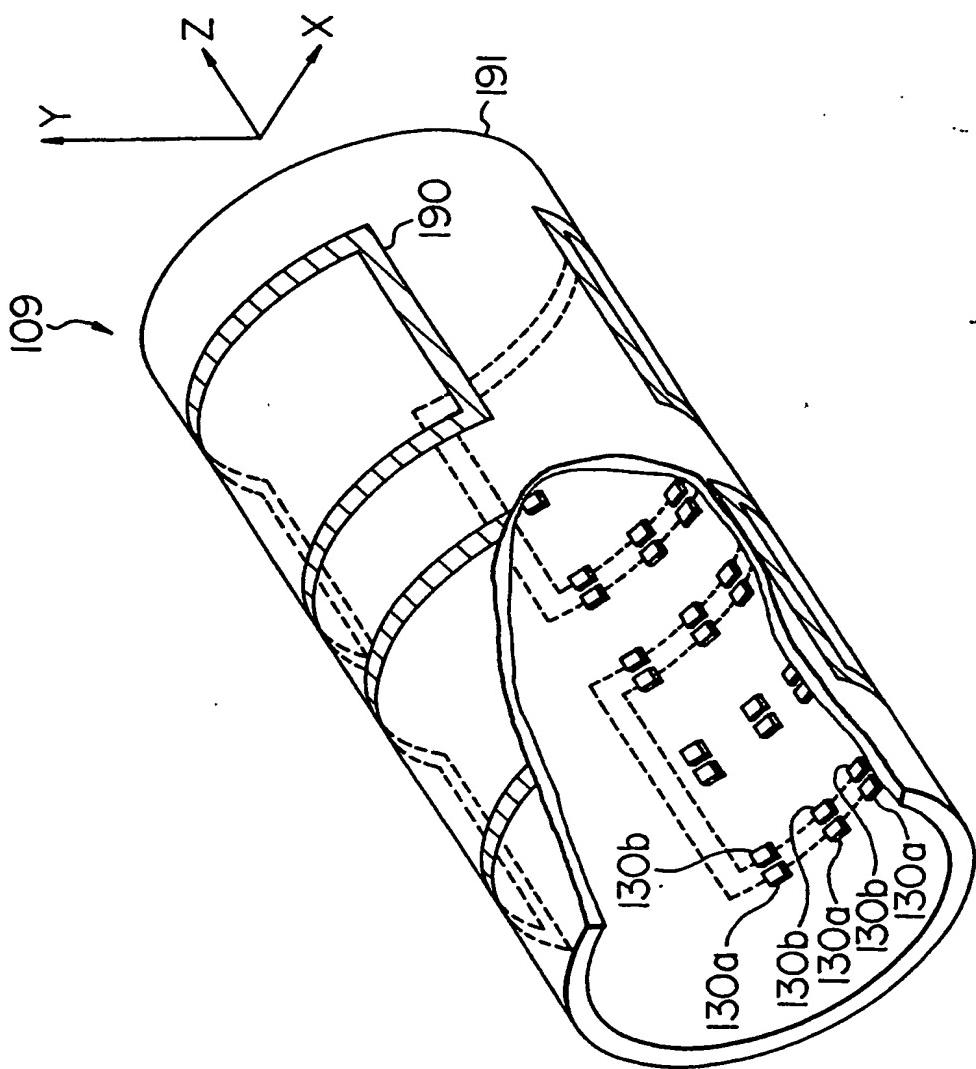


FIG. I

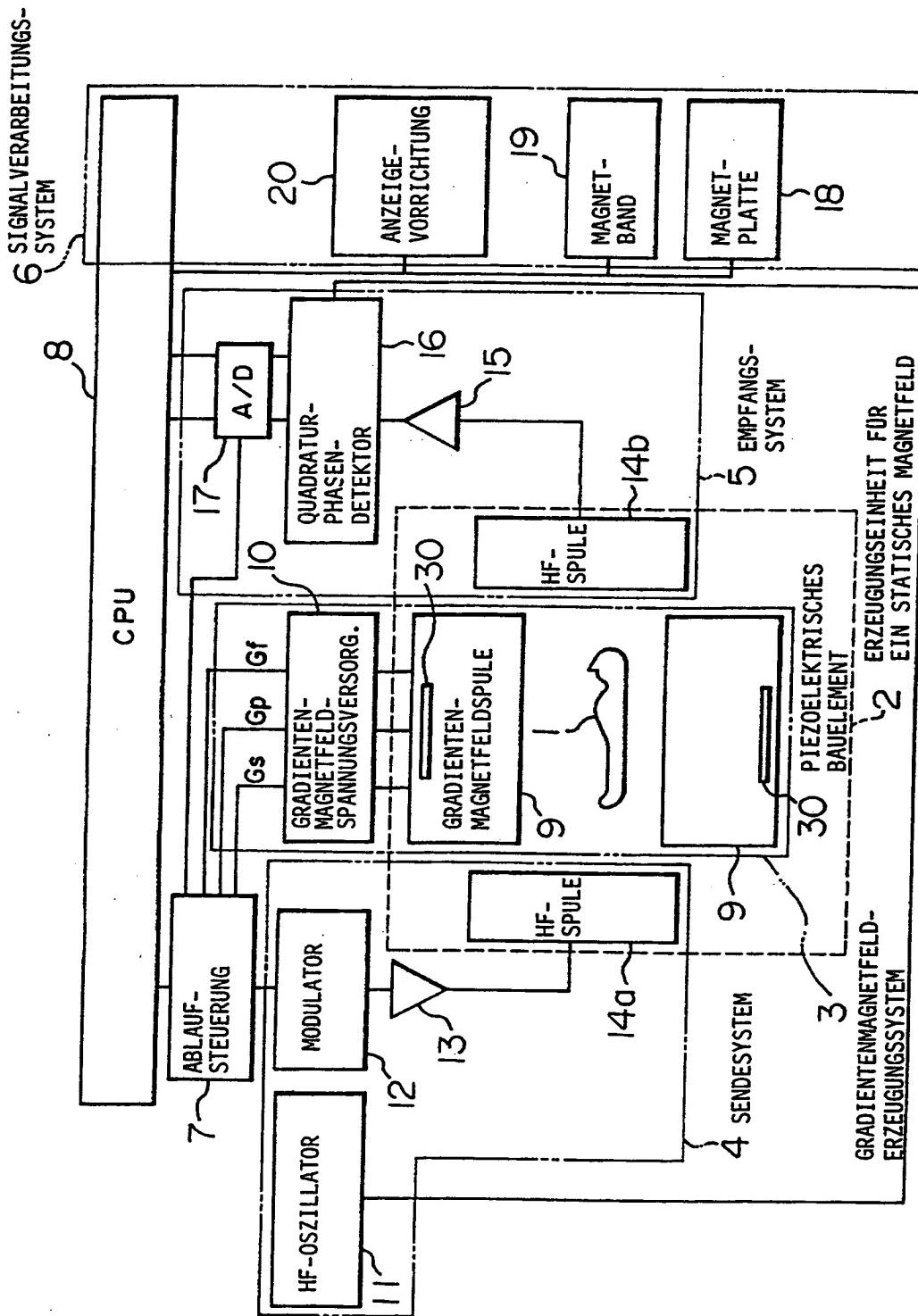


FIG. 2

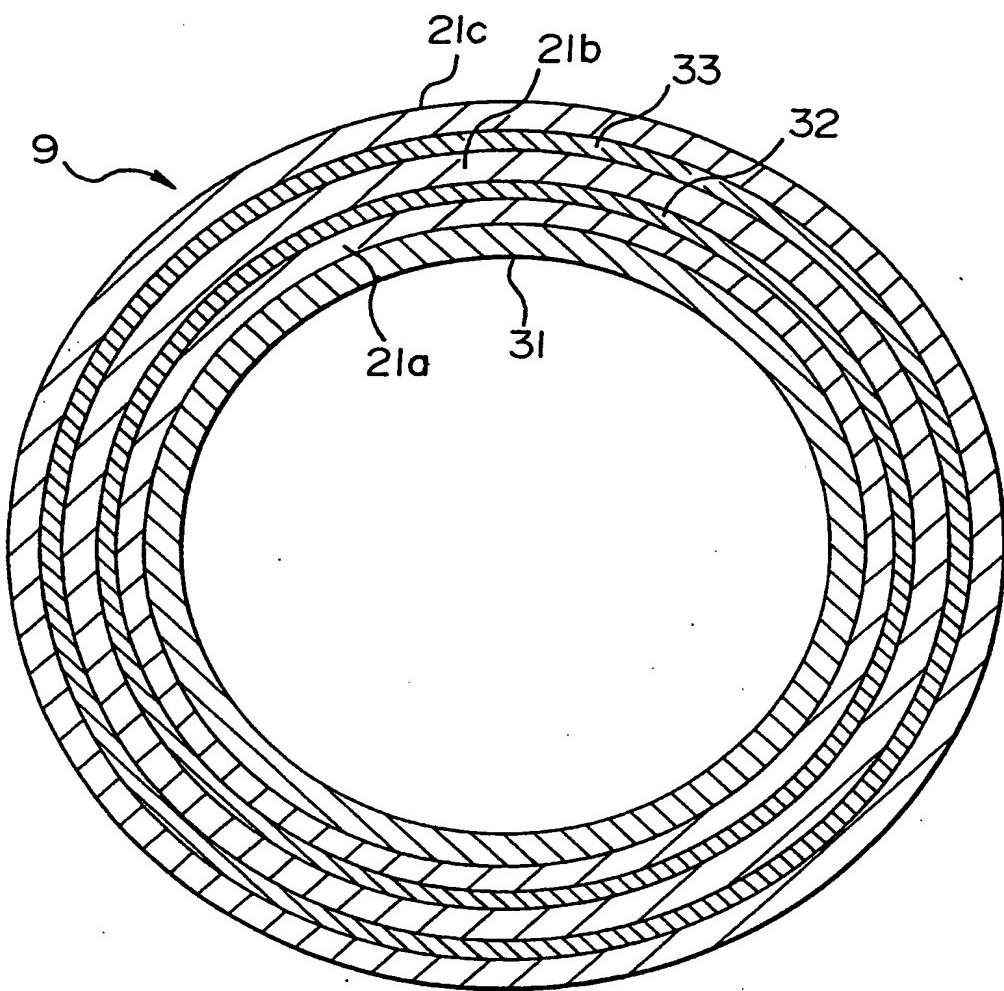
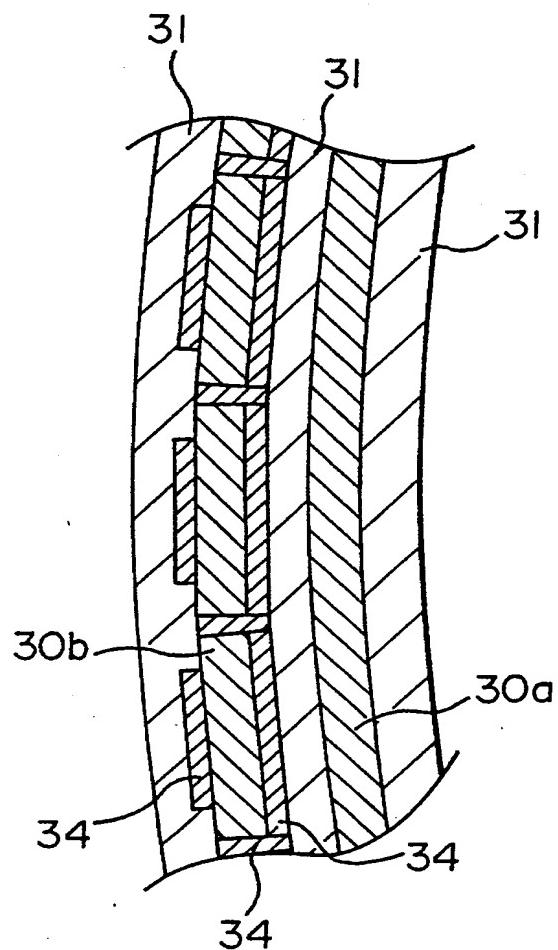


FIG. 3



F I G. 4

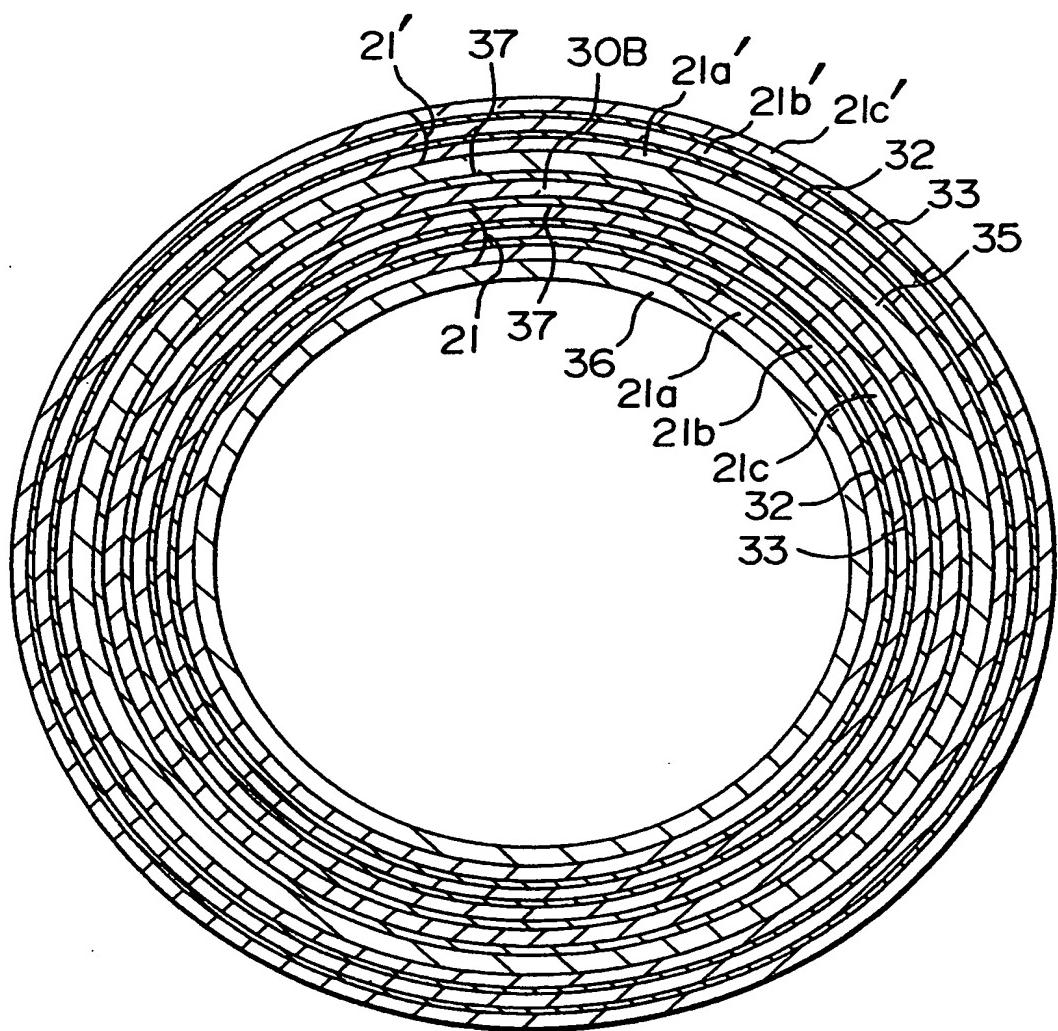


FIG. 5

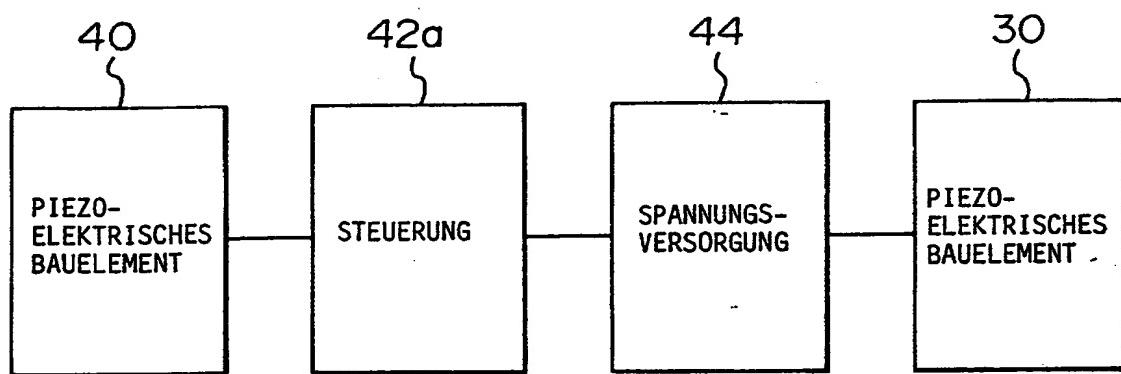


FIG. 6

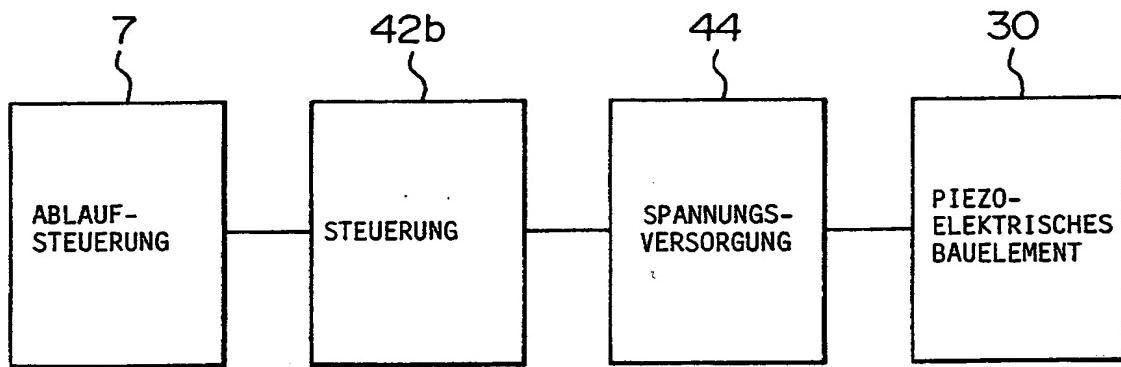


FIG. 8

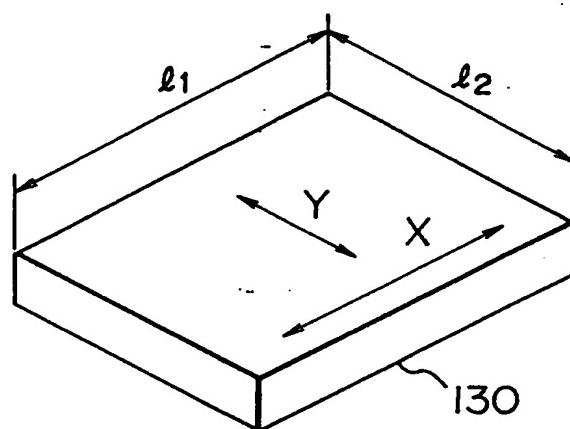


FIG. 9

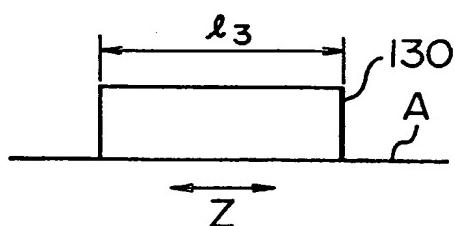


FIG. 11

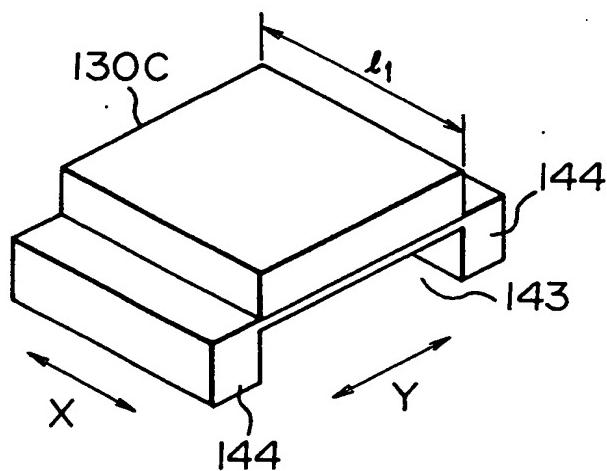
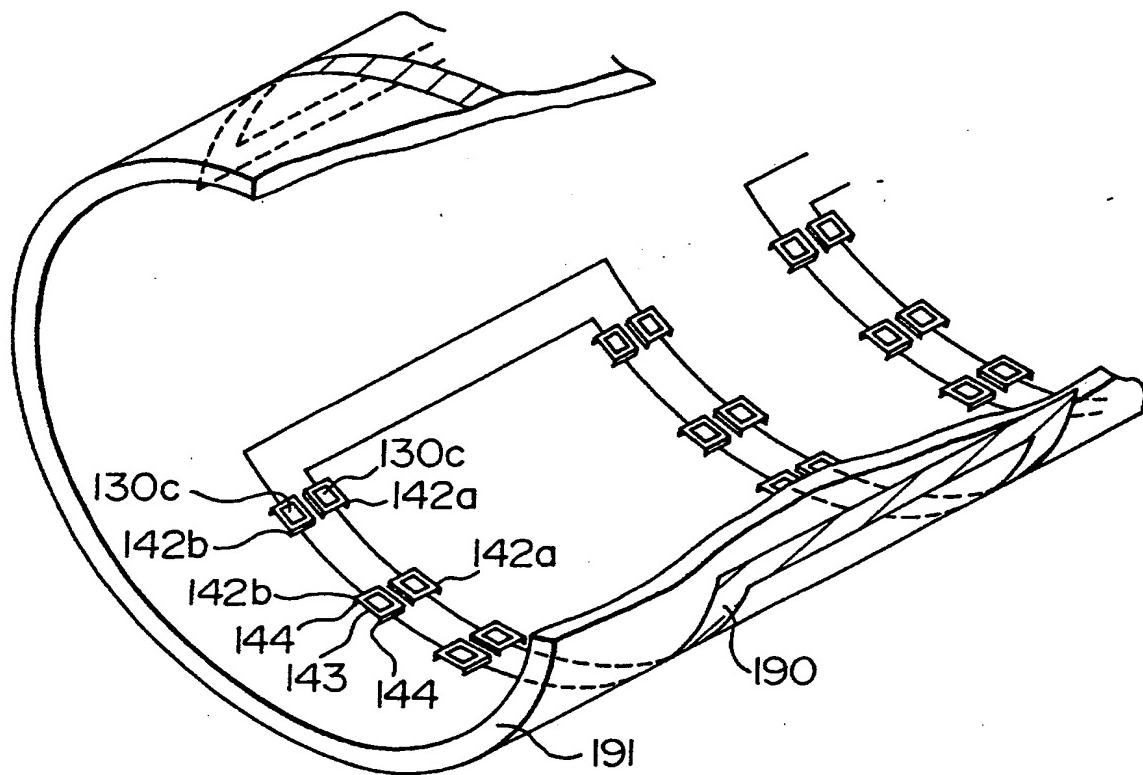


FIG. 10



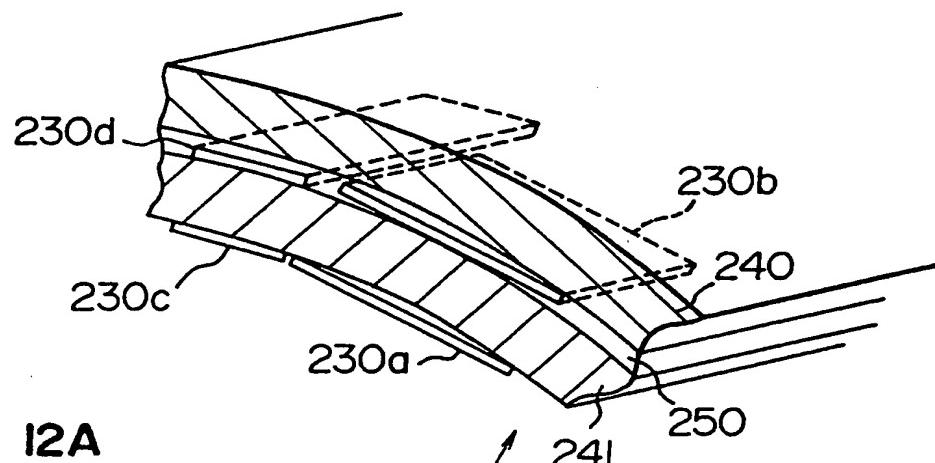
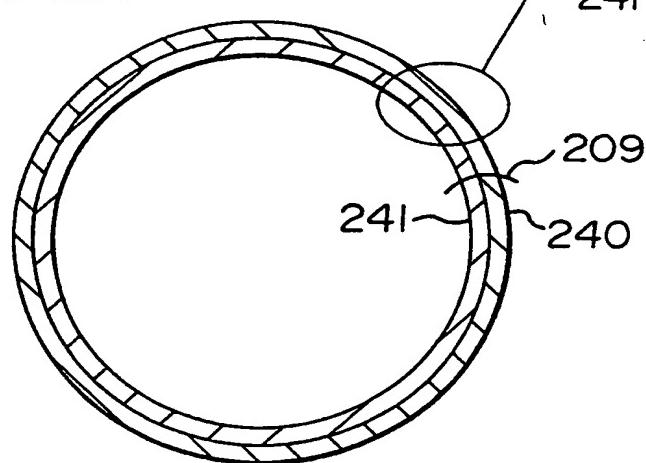
**F I G. I2B****F I G. I2A**

FIG. 13A

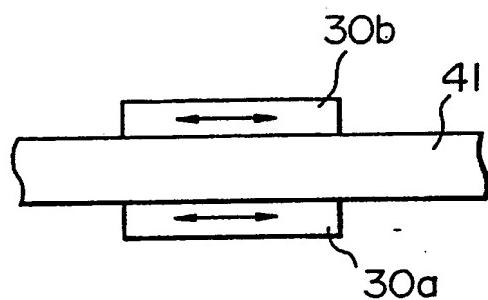


FIG. 13B

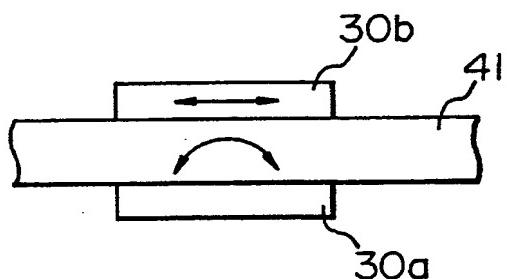


FIG. 14B

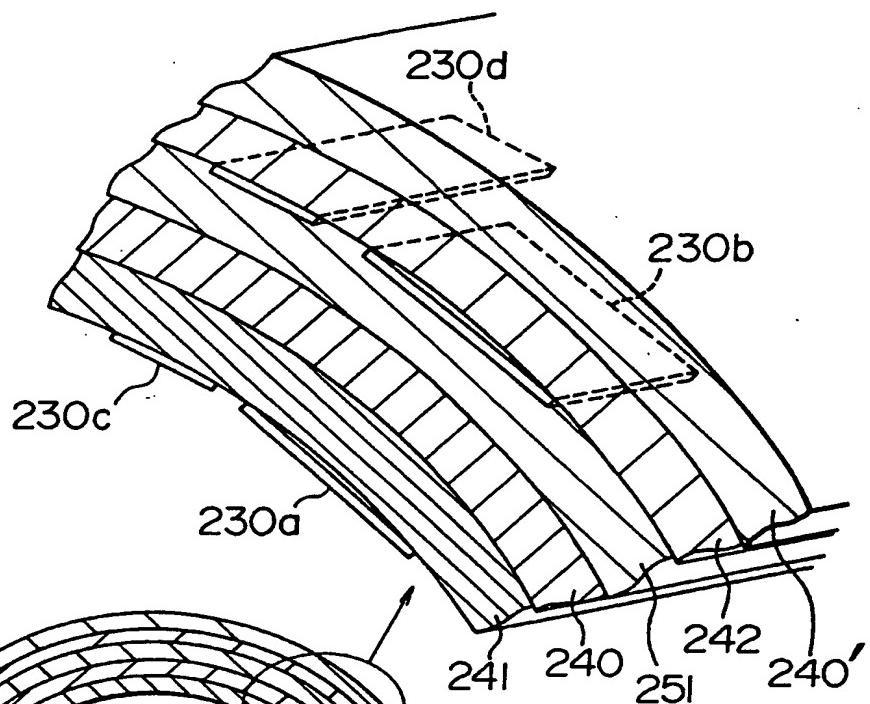
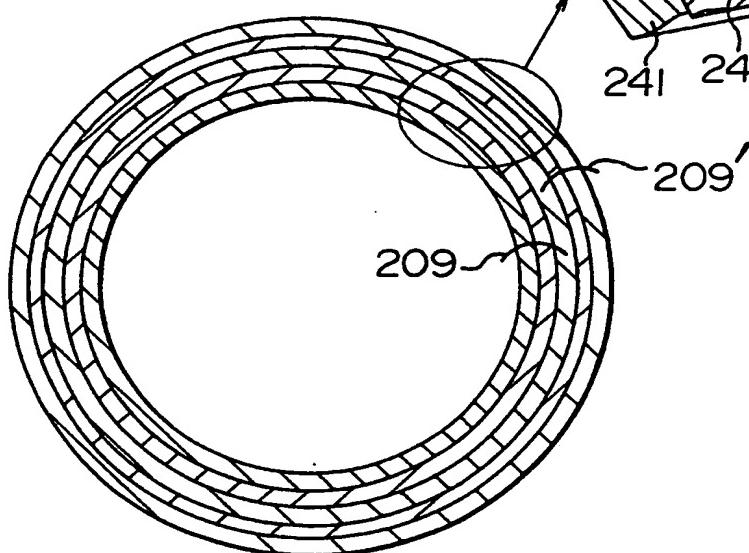
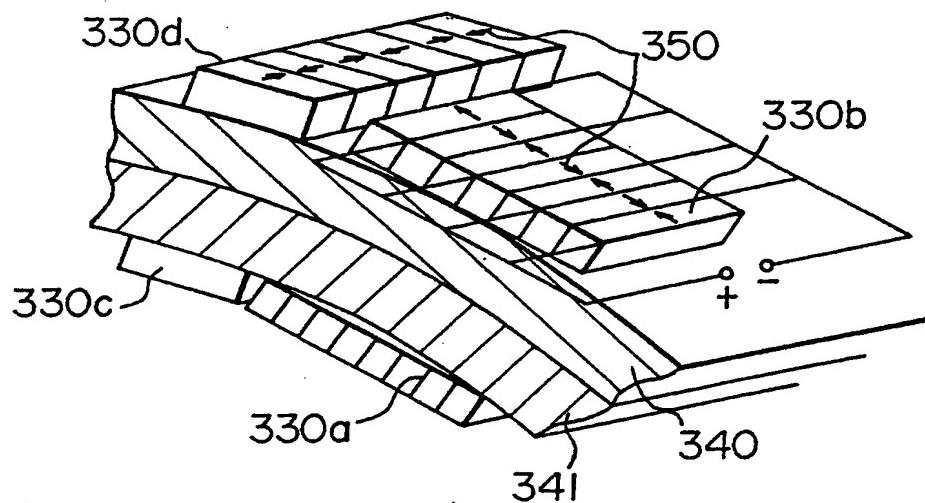
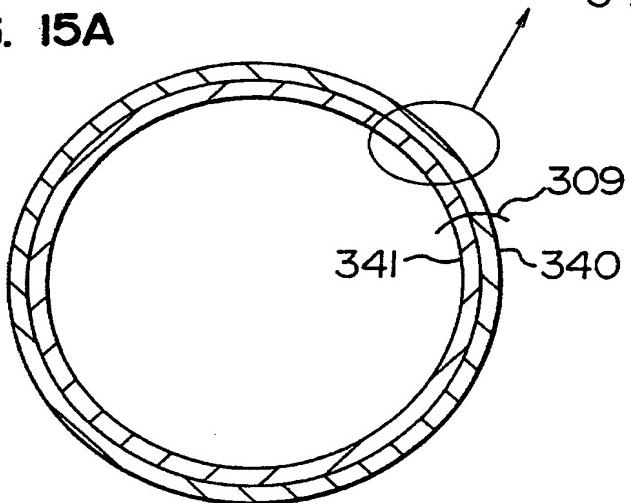


FIG. 14A



**FIG. 15B****FIG. 15A**

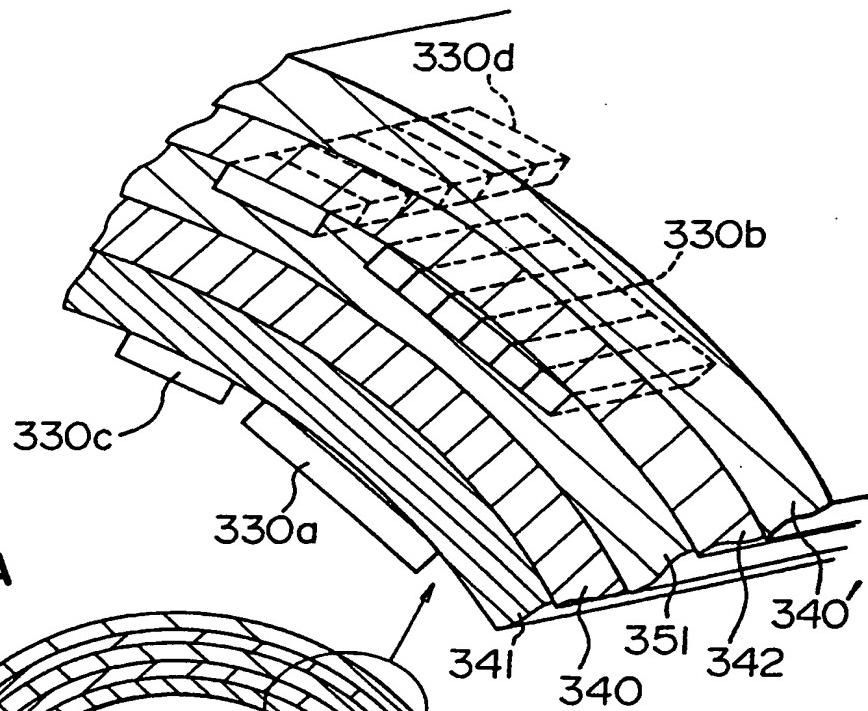
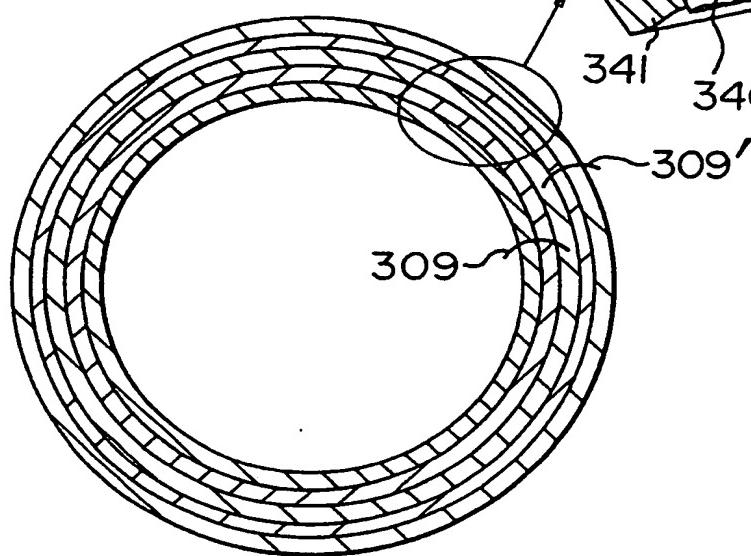
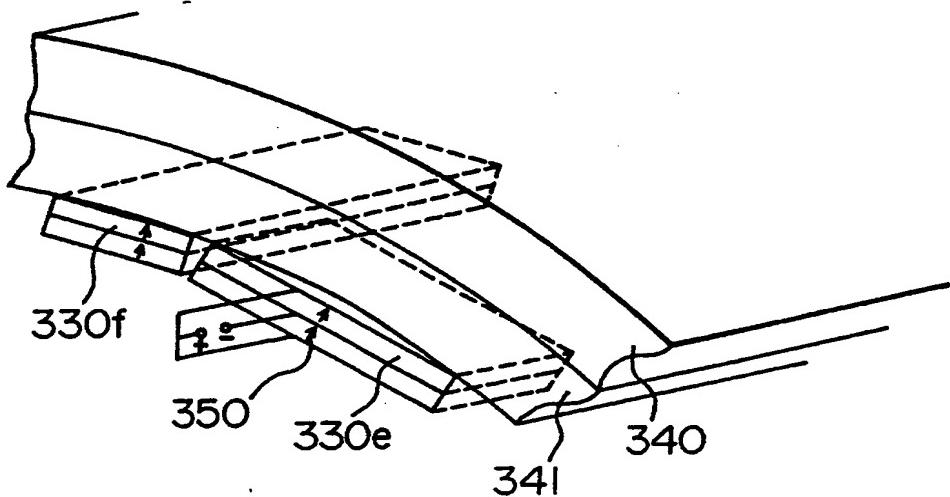
**F I G. 16B****F I G. 16A**

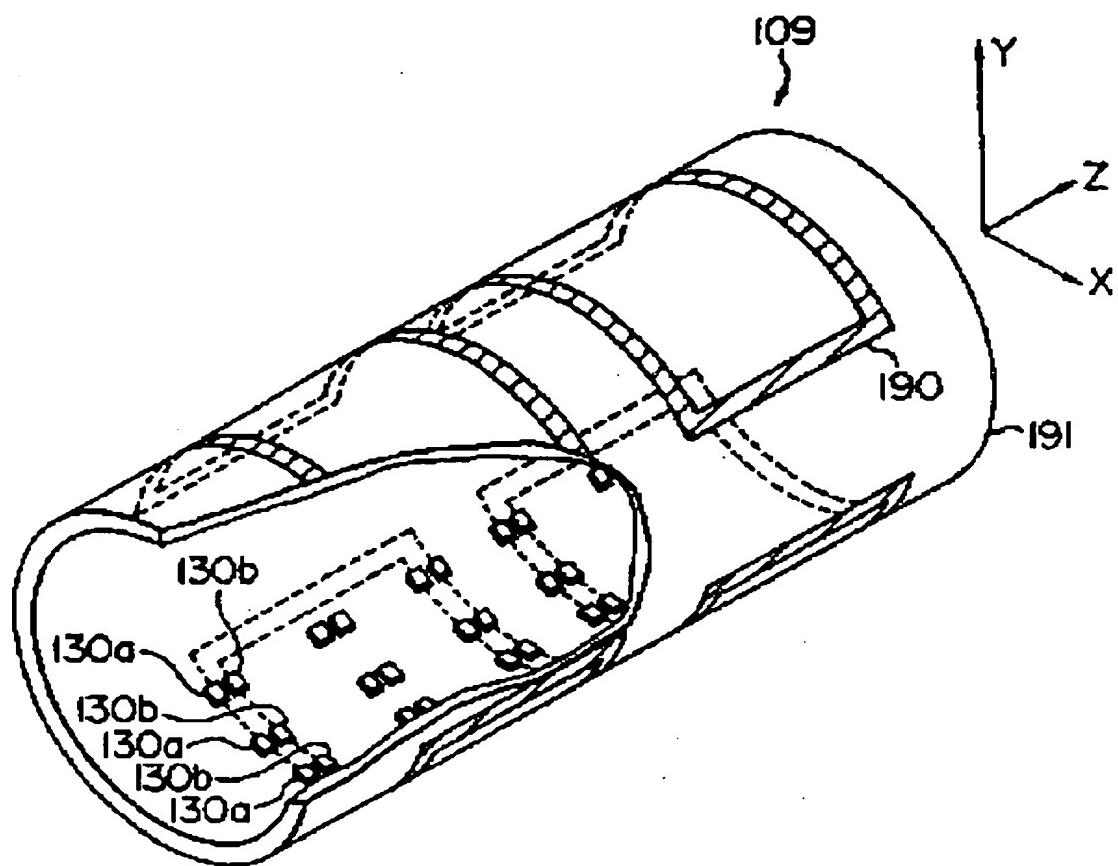
FIG. 17



AN: PAT 1995-124206  
TI: NMR-tomography gradient field coil electromagnetic force canceller + uses piezoelectric elements mounted on field coil windings to oppose gradient field-coil deforming forces  
PN: DE4432747-A1  
PD: 23.03.1995  
AB: Nuclear Magnetic Resonance (NMR) gradient field generator (109) generates field in which examined object is positioned. Gradient field coil (190) is fixed on mounting (190). To oppose and correct deformation of coil by electromagnetic forces caused by current in coil. Piezoelectric components (130) are position on windings (190) and energised by a controlled voltage to generate opposing force to electromagnetic force.; Noise reduction in NMR measurement circuitry.  
PA: (HITR ) HITACHI MEDICAL CORP;  
IN: NISHIMURA H; YOSHINO H;  
FA: DE4432747-A1 23.03.1995; JP3434896-B2 11.08.2003;  
JP07275220-A 24.10.1995; JP08038442-A 13.02.1996;  
JP08038443-A 13.02.1996; DE4432747-C2 27.03.1997;  
US5617026-A 01.04.1997; JP3364855-B2 08.01.2003;  
CO: DE; JP; US;  
IC: A61B-005/055; B06B-001/06; F01N-001/00; F16F-015/02;  
F16F-015/03; G01N-033/48; G01R-033/20; G01R-033/34;  
G01R-033/385; G01R-033/48; G01V-003/00; G01V-003/14;  
G10K-011/16; G10K-011/178; H01R-015/00; H04R-015/00;  
MC: S01-E02A; S01-H05; S03-E07A; S05-D03A1; V02-F01G; V02-F03;  
DC: P31; P43; P86; Q63; S01; S03; S05; V02;  
FN: 1995124206.gif  
PR: JP0253634 17.09.1993; JP0068732 06.04.1994;  
JP0179193 29.07.1994; JP0181560 02.08.1994;  
FP: 23.03.1995  
UP: 21.08.2003

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)